

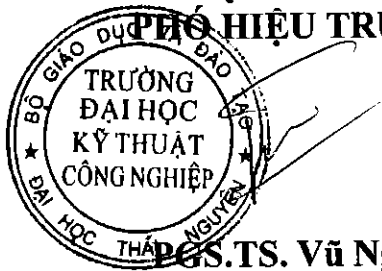
ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KỸ THUẬT CÔNG NGHIỆP

BÁO CÁO TỔNG KẾT
ĐỀ TÀI KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ CẤP TRƯỜNG

NGHIÊN CỨU HIỆU QUẢ TRUYỀN NHIỆT
CỦA CƠ CẤU PHANH ĐĨA Ô TÔ

Mã số: T2022-B28

Xác nhận của tổ chức chủ trì KT.
HIỆU TRƯỞNG
PHÓ HIỆU TRƯỞNG



PGS.TS. Vũ Ngọc Pi

Chủ nhiệm đề tài

Nguyễn Thành Công

Thái Nguyên, 5/2023

**DANH SÁCH NHỮNG THÀNH VIÊN THAM GIA
NGHIÊN CỨU ĐỀ TÀI**

TT	Họ và tên	Đơn vị công tác và lĩnh vực chuyên môn
1	Vũ Văn Hải	Khoa KT Ô tô và MĐL
2	Đỗ Văn Quân	Khoa KT Ô tô và MĐL

MỤC LỤC

PHẦN NÓI ĐẦU	1
CHƯƠNG 1.....	3
TỔNG QUAN NỘI DUNG NGHIÊN CỨU.....	3
1.1. Giới thiệu chung về hệ thống phanh.....	3
1.1.1. Công dụng, phân loại, yêu cầu.....	3
1.1.2. Hệ thống dẫn động phanh.....	13
1.2. Vật liệu ma sát sử dụng trong các loại phanh ô tô	14
1.2.1. Thành phần vật liệu ma sát.....	14
1.2.2. Các tính chất của của vật liệu ma sát.....	15
1.3. Ảnh hưởng của nhiệt độ đến hệ số ma sát trong quá trình phanh ô tô ..	16
1.3.1. Sự tăng nhiệt độ của cơ cấu phanh khi phanh liên tục	16
1.3.2. Sự suy giảm hiệu quả phanh do nhiệt độ.....	17
1.4.1. Tổng quan tình hình nghiên cứu trong và ngoài nước.....	18
1.4.1. Tổng quan về tình hình nghiên cứu ở nước ngoài.....	18
1.4.2. Tổng quan về tình hình nghiên cứu ở trong nước	20
1.5. Kết luận chương 1	21
CHƯƠNG 2.....	22
CƠ SỞ LÝ THUYẾT TRUYỀN NHIỆT TRONG CƠ CẤU PHANH ĐĨA PHÁT SINH TRONG QUÁ TRÌNH PHANH	22
2.1. Nhiệt phát sinh trong quá trình phanh	22
2.2. Trường nhiệt độ của cơ cấu phanh	24
2.3. Kết luận chương 2	27
CHƯƠNG 3.....	28
XÂY DỰNG MÔ HÌNH VÀ PHÂN TÍCH NHIỆT, TRUYỀN NHIỆT CỦA CƠ CẤU PHANH ĐĨA PHÁT SINH TRONG QUÁ TRÌNH PHANH	28
3.1. Các phương pháp xây dựng mô hình nhiệt của cơ cấu phanh.....	28
3.1.1. Phương pháp giải tích.....	28
3.1.2. Phương pháp số	29
3.2.2. Kết hợp giữa giải tích và mô phỏng	29
3.2. Phân mềm CAE mô phỏng và phân tích	30
3.2.1. Các phần mềm CAE thông dụng.....	30

3.2.3.Phân tích phần mềm Ansys	34
3.3.Phân tích nhiệt, truyền nhiệt của cơ cấu phanh	37
3.3.1.Xây dựng mô hình vật lý.....	37
3.2.3.Xây dựng mô hình CAD.....	37
3.4.Mô phỏng	38
3.4.Giải pháp tản nhiệt cho cơ cấu phanh trên ô tô	45
3.5.Kết luận chương	49
KẾT LUẬN KIẾN NGHỊ.....	50

DANH MỤC HÌNH ẢNH

Hình 1.1. Hệ thống phanh trên ô tô	6
Hình 1.2. Sơ đồ các dạng cơ cấu phanh tang trống	7
Hình 1.3. Cơ cấu phanh đối xứng qua trục với dẫn động phanh thủy lực 1: Guộc phanh	7
Hình 1.4. Cơ cấu phanh đối xứng qua trục với dẫn động phanh khí nén.....	8
Hình 1.5. Phanh đĩa có giá đỡ cố định	10
Hình 1.6. Cơ cấu phanh đĩa có giá đỡ di động	12
Hình 1.7. Các loại vật liệu sử dụng trong các loại cơ cấu phanh.....	15
Hình 1.8. Biểu đồ sự phụ thuộc của hệ số ma sát vào nhiệt độ.....	15
Hình 1.9. Nhiệt độ của các cơ cấu phanh khi phanh liên tục trên đường dốc	17
Hình 3.1. Sơ đồ xây dựng mô hình và phân tích nhiệt theo phương pháp giải tích.....	28
Hình 3.2. Sơ đồ xây dựng mô hình và phân tích nhiệt theo phương pháp mô phỏng.....	29
Hình 3.3. Minh họa phần mềm Ansys.....	30
Hình 3.4. Minh họa phần mềm Abaqus.....	30
Hình 3.5. Minh họa phần mềm COMSOL	31
Hình 3.6. Minh họa phần mềm Siemens NX	31
Hình 3.7. Minh họa phần mềm MSC Nastran.....	32
Hình 3.8. Minh họa phần mềm SolidWorks Simulation	32
Hình 3.9. Minh họa phần mềm LS-DYNA	33
Hình 3.9. Minh họa phần mềm LS-DYNA	33
Hình 3.10. Logo phần mềm Ansys.....	34
Hình 3.11. Cấu trúc chung của Ansys.....	35
Hình 3.12. Module sản phẩm của Ansys.....	35
Hình 3.13 Giao diện Ansys APDL.....	36
Hình 3.14 Mô hình xe tải và kích thước phanh đĩa.....	37
Hình 3.15 Cơ cấu phanh đĩa	37
Hình 3.16 Chia lưới phần tử.....	38
Hình 3.17. Kết quả mô phỏng nhiệt độ trên đĩa phanh	40
Hình 3.18. Kết quả mô phỏng nhiệt độ khi phanh trên dốc dài	42

Hình 3.20. Kết quả mô phỏng nhiệt độ bề mặt đĩa phanh khi phanh gấp.	45
Hình 3.21. Tạo lỗ tản nhiệt cho cơ cấu phanh.....	46
Hình 3.22. Tạo gân, cánh tản nhiệt cho cơ cấu phanh.....	46
Hình 3.23. Phanh làm mát bằng nước	47
Hình 3.24. Hệ thống làm mát bằng dầu.....	47
Hình 3.25. Điều khiển nhiệt độ làm mát	49

DANH MỤC BẢNG BIỂU

Bảng 1. Thông số đĩa phanh.....	38
Bảng 2 Giá trị nhiệt độ khi phanh trên dốc dài.	41
Hình 3.19. Kết quả mô phỏng nhiệt độ bề mặt đĩa phanh khi thay đổi tải trọng.....	43
Bảng 4 Giá trị nhiệt độ trên đĩa phanh ở vận tốc khác nhau.....	43

TRƯỜNG ĐẠI HỌC
KỸ THUẬT CÔNG NGHIỆP
Đơn vị: Khoa KT Ô TÔ & MDL

THÔNG TIN KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

1. Thông tin chung:

- Tên đề tài: Nghiên cứu hiệu quả truyền nhiệt của cơ cấu phanh đĩa ô tô
- Mã số: T2022-B28
- Chủ nhiệm đề tài: ThS. Nguyễn Thành Công
- Cơ quan chủ trì: Trường ĐH Kỹ thuật Công nghiệp
- Thời gian thực hiện: 2022-2023

2. Mục tiêu:

- Phân tích tổng quan về đề tài;
- Xây dựng mô hình hóa phần tử hữu hạn;
- Phân tích hiệu quả truyền nhiệt cơ cấu phanh.

3. Kết quả nghiên cứu:

- Phân tích được tổng quan về đề tài;
- Xây dựng được mô hình hóa phần tử hữu hạn;
- Phân tích được hiệu quả truyền nhiệt cơ cấu phanh.

4. Sản phẩm:

- Sản phẩm đào tạo: Không
- Sản phẩm khoa học: 01 bài báo quốc tế có chỉ số ISSN
- Sản phẩm ứng dụng: Không

5. Hiệu quả: Đào tạo

6. Khả năng áp dụng và phương thức chuyển giao kết quả nghiên cứu: Khoa Kỹ thuật Ô tô và Máy động lực

Ngày 25 tháng 05 năm 2023

Chủ nhiệm đề tài



ThS. Nguyễn Thành Công

INFORMATION ON RESEARCH RESULTS

1. General information:

Project title: Study on heat transfer efficiency of vehicle disc brake mechanism

Code number: T2022-B28

Coordinator: Nguyen Thanh Cong

Implementing institution: Thai Nguyen University of Technology

Duration: from 2022 to 2023

2. Objective(s):

- Analysis of the overview of project;
- Setting up the finite element model;
- Analysis of the heat transfer efficiency of vehicle disc brake mechanism.

3. Research results:

- Analyzing the overview of project;
- Setting up the finite element model;
- Analyzing the heat transfer efficiency of vehicle disc brake mechanism.

4. Products: 01 international paper/ISSN

5. Effects: Training.

6. Transfer alternatives of reserach results andapplic ability: Faculty of Automotive and Power Machinery Engineering, Thai Nguyen University of Technology

PHẦN NÓI ĐẦU

Sản xuất phương tiện giao thông nói chung và sản xuất ô tô trên thế giới cũng như tại Việt Nam ngày càng gia tăng về số lượng cũng như chất lượng-trong đó về mặt chất lượng thì độ an toàn được đặt lên hàng đầu; ô tô trở thành phương tiện vận chuyển quan trọng, phổ biến trong vận chuyển hành khách và hàng hoá trong các ngành kinh tế quốc dân, trở thành phương tiện giao thông tư nhân ở các nước có nền kinh tế phát triển cũng như đang phát triển. Tại Việt Nam, với sự tăng trưởng mạnh của nền kinh tế thì ô tô trở thành một trong những phương tiện giao thông phổ biến, mật độ ô tô lưu thông trên đường ngày càng cao.

Do mật độ ô tô tham gia trên đường ngày càng cao, sự phát triển của cơ sở hạ tầng giao thông nên tốc độ chuyển động ngày càng cao, ô tô tham gia giao thông ở nhiều loại đường và địa hình khác nhau cho nên vấn đề đảm bảo an toàn giao thông trên đường là vấn đề cấp thiết luôn phải quan tâm cho nhà sản xuất cũng như người vận hành phương tiện.

Ở Việt Nam, số vụ tai nạn giao thông đang trong tình trạng báo động. Theo thống kê của các nước thì trong tai nạn giao thông đường bộ 60

÷ 70 % do con người gây ra, 10 ÷ 15 % do hư hỏng máy móc, trục trặc kỹ thuật và 20 ÷ 30% là do đường sá quá xấu. Trong nguyên nhân do hư hỏng máy móc, trục trặc về kỹ thuật thì theo thống kê cho thấy nguyên nhân tai nạn do hệ thống phanh chiếm tỷ lệ lớn (52 ÷ 75%). Do đó mà hiện nay các hãng sản xuất xe luôn tìm cách cải tiến các hệ thống an toàn nói chung và hệ thống phanh nói riêng, tiêu chuẩn về thiết kế chế tạo và sử dụng hệ thống phanh ngày càng nghiêm ngặt và chặt chẽ. Trong quá trình phanh thì ngoài vấn đề an toàn do kết cấu của phanh thì vấn đề phát sinh nhiệt làm giảm ma sát giữa đĩa phanh và má phanh dẫn đến làm giảm hiệu quả phanh cần được đặc biệt quan tâm. Trong quá trình phanh liên tục khi xuống dốc dài thì hiện tượng mất phanh do phát sinh nhiệt trong phanh xảy ra tương đối phổ biến nên dẫn đến các vụ tai nạn nghiêm trọng.

Nhằm giải quyết vấn đề này thì trước hết ta cần phải hiểu rõ về nguyên lý hoạt động, kết cấu các chi tiết, bộ phận trong hệ thống phanh. Từ đó tạo tiền đề cho việc khảo sát thiết kế, cải tiến hệ thống phanh nhằm tăng hiệu quả phanh, tăng tính ổn định hướng và tính dẫn hướng khi phanh, tăng độ tin cậy làm việc với mục đích đảm bảo an toàn chuyển động và tăng hiệu quả vận chuyển của ô tô. Đó là lý do tôi đã nghiên cứu chuyên đề “*Nghiên cứu hiệu quả truyền nhiệt của cơ cấu phanh đĩa ô tô*”. Trong chuyên đề này tôi tập trung vào xây dựng mô hình phân bố nhiệt độ của cơ cấu phanh đĩa phát sinh trong quá trình phanh và phân tích quá trình truyền nhiệt trong quá trình phanh nhằm nâng cao hiệu quả phanh, đảm bảo an toàn chuyển động của xe ô tô.

Qua đây cho phép tôi được bày tỏ lòng cảm ơn sâu sắc các thầy trong Bộ môn Kỹ thuật Ô tô, Khoa Kỹ thuật Ô tô và Máy động lực, trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp, Đại học Thái Nguyên và các bạn bè, đồng nghiệp, đặc biệt là Nhóm nghiên cứu “Điều khiển động lực học, rung ồn phương tiện giao thông và máy” của Nhà trường đã giúp đỡ tôi hoàn thành đề tài này.

CHƯƠNG 1

TỔNG QUAN NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

1.1. Giới thiệu chung về hệ thống phanh

1.1.1. Công dụng, phân loại, yêu cầu

a) Công dụng

Hệ thống phanh có chức năng giảm tốc độ chuyển động của ô tô đến tốc độ chuyển động nào đó theo yêu cầu của người lái hoặc dừng hẳn ô tô ở một vị trí nhất định. Thông thường, quá trình phanh xe được tiến hành bằng cách tạo ma sát giữa phần quay và phần đứng yên trên xe, như vậy động năng chuyển động của xe biến thành nhiệt năng của cơ cấu ma sát và được truyền ra môi trường xung quanh.

Hệ thống phanh trên ô tô gồm các bộ phận chính: cơ cấu phanh, dẫn động phanh. Ngày nay, trên cơ sở các bộ phận kể trên, hệ thống phanh còn bố trí thêm các thiết bị nâng cao hiệu quả phanh. Cơ cấu phanh được bố trí ở gần bánh xe, thực hiện chức năng của các cơ cấu ma sát nhằm tạo ra mô men hãm trên các bánh xe của ô tô khi phanh.

Dẫn động phanh bao gồm các bộ phận liên kết từ cơ cấu điều khiển (bàn đạp, cần kéo phanh) tới các chi tiết điều khiển sự hoạt động của cơ cấu phanh. Dẫn động phanh dùng để truyền và khuếch đại lực điều khiển từ cơ cấu điều khiển phanh đến các chi tiết điều khiển hoạt động của cơ cấu phanh.

Hệ thống phanh còn giữ cho xe đỗ an toàn, không bị trôi trên đường, cả kể trên dốc. Như vậy, nhờ có hệ thống phanh mà người lái có thể chạy xe an toàn ở tốc độ cao, do đó tăng năng suất vận chuyển và hiệu quả xe. Trên xe thường bố trí hai hệ thống phanh hoạt động độc lập là phanh chân (điều khiển bàn đạp phanh bằng chân) và phanh tay (điều khiển cần kéo phanh bằng tay). Phanh tay thường có cơ cấu hãm cần kéo phanh cho phép duy trì sự hãm xe mà không cần phải giữ cần phanh khi kéo, phanh chân

chỉ hoạt động khi đạp chân lên bàn đạp phanh, nhả chân khỏi bàn đạp nhả phanh. Phanh chân thường dùng cơ cấu hãm bánh xe, phanh tay thường dùng cơ cấu hãm trục truyền động.

b)Phân loại

Hệ thống phanh được phân chia theo tính chất hình thành hệ thống phanh:

- Theo đặc điểm điều khiển được chia thành:

Phanh chính (phanh chân), dùng để giảm tốc độ khi xe chuyển động;

Phanh phụ(phanh tay), dùng để đỗ xe khi người lái rời khỏi buồng lái và dùng làm phanh dự phòng;

Phanh hỗ trợ (phanh bằng động cơ, thủy lực hoặc điện tử) dùng để tiêu hao bớt một phần động năng của ô tô khi cần tiến hành phanh lâu dài (phanh trên dốc dài...)

- Theo kết cấu của cơ cấu phanh được chia ra: cơ cấu phanh tang trống, cơ cấu phanh đĩa, cơ cấu phanh dải.

- Theo dẫn động phanh:

- Hệ thống phanh dẫn động bằng cơ khí;

- Hệ thống phanh dẫn động bằng thủy lực;

- Hệ thống phanh dẫn động bằng khí nén;

- Hệ thống phanh dẫn động liên hợp: cơ khí, thủy lực, khí nén...;

- Hệ thống phanh dẫn động có trợ lực.

- Theo mức độ hoàn thiện hệ thống phanh

Hệ thống phanh được hoàn thiện theo hướng nâng cao chất lượng điều khiển ô tô khi phanh, do vậy có trang bị thêm các bộ điều chỉnh lực phanh;

- Bộ điều chỉnh lực phanh (bộ điều hòa lực phanh);

- Bộ chống hãm cứng bánh xe (hệ thống ABS).

Trên hệ thống phanh ABS còn có thể bố trí các liên hợp điều chỉnh: hạn chế trượt quay, ổn định động học ô tô...nhằm hoàn thiện khả năng cơ động, ổn định của ô tô khi không điều khiển phanh.

c) Yêu cầu

Hệ thống phanh cần đảm bảo các yêu cầu sau:

Có hiệu quả phanh cao nhất ở tất cả các bánh xe nghĩa là đảm bảo quãng đường phanh ngắn nhất khi phanh đột ngột trong trường hợp gặp nguy hiểm;

Điều khiển nhẹ nhàng và thuận lợi: lực tác dụng lên bàn đạp hay cần kéo điều khiển phù hợp với khả năng thực hiện liên tục của con người;

Đảm bảo sự ổn định chuyển động của ô tô và phanh êm dịu trong mọi trường hợp.

Dẫn động phanh có độ nhạy cao, đảm bảo mối tương quan giữa lực bàn đạp với sự phanh của ô tô trong quá trình thực hiện phanh;

Cơ cấu phanh thoát nhiệt tốt, duy trì ổn định hệ số ma sát trên cơ cấu phanh trong mọi điều kiện sử dụng;

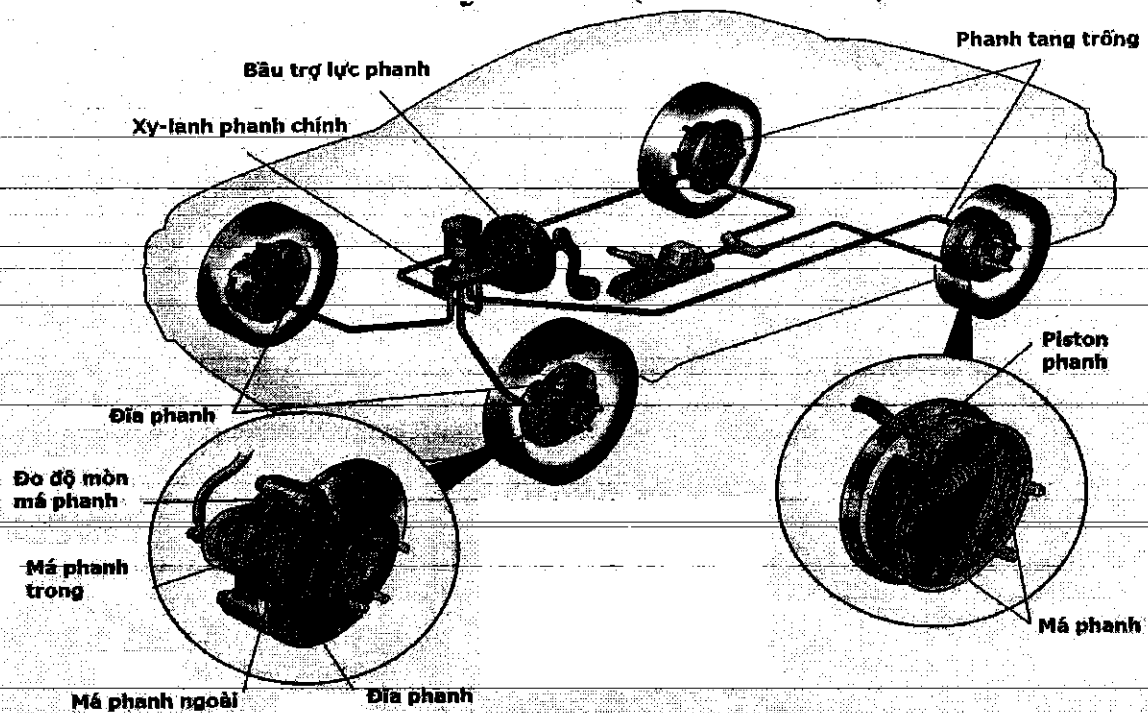
Hạn chế tối đa hiện tượng trượt lết bánh xe khi phanh với các cường độ lực bàn đạp khác nhau;

Có khả năng giữ ô tô đứng yên trong thời gian dài, kể cả trên nền đường dốc;

Đảm bảo độ tin cậy của hệ thống trong khi thực hiện phanh trong mọi trường hợp sử dụng, kể cả khi một phần dẫn động điều khiển có hư hỏng.

1.1.2. Phân tích cơ cấu phanh ô tô

Cơ cấu phanh là bộ phận thực hiện tiêu hao động năng của xe khi phanh và được điều khiển từ các cơ cấu trên buồng lái. Các cơ cấu phanh thường dùng trên cơ sở tạo ma sát giữa phần quay và phần cố định. Trên các ô tô hiện đại sử dụng phổ biến 2 loại cơ cấu phanh: phanh tang trống (phanh guốc) và phanh đĩa. Phanh guốc sử dụng chủ yếu trên các ô tô có tải trọng lớn: ô tô tải, ô tô chở khách và một số loại ô tô con. Phanh đĩa được sử dụng chủ yếu trên ô tô con, đặc biệt là ở các cơ cấu phanh trước



Hình 1.1. Hệ thống phanh trên ô tô

1.1.1.1. Cơ cấu phanh tang trống

Cơ cấu phanh này được dùng khá phổ biến trên ô tô. Trong cơ cấu dạng tang trống sử dụng các guốc phanh cố định và được phanh với mặt trụ trong của tang trống quay cùng bánh xe. Như vậy, quá trình phanh được thực hiện nhờ ma sát giữa bề mặt tang trống và các má phanh.

Cơ cấu phanh tang trống được phân loại theo phương pháp bố trí và điều khiển các guốc phanh thành các dạng sau:

- Guốc phanh đặt đối xứng qua đường tâm trục;
- Guốc phanh đặt đối xứng với tâm quay;
- Guốc phanh đặt bơi;
- Guốc phanh tự cường hóa một chiều quay;
- Guốc phanh tự cường hóa hai chiều quay.

Các dạng này còn có thể phân biệt thành các cơ cấu sử dụng với các lực điều khiển guốc phanh từ hệ thống dẫn động khí nén (a), thủy lực (a, b, c, d, e) hoặc cơ khí (a, d).

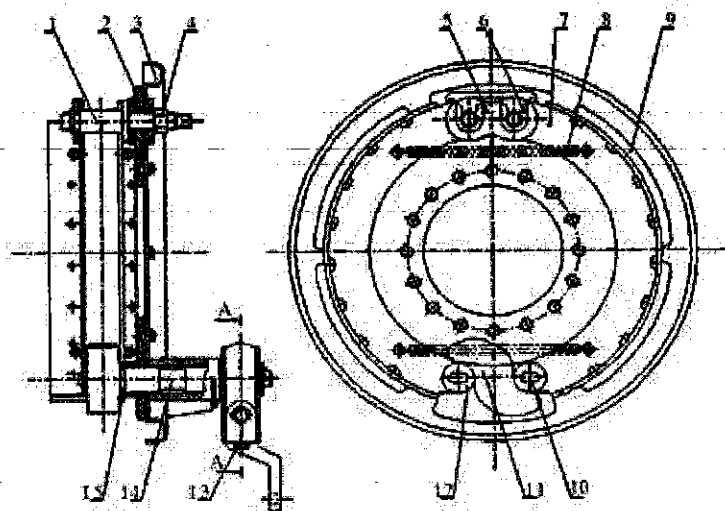
phanh được điều chỉnh bằng trục cam ép hoặc hai cam lệch tâm. Trên hai guốc phanh có tán (hoặc dán) các tấm ma sát. Các tấm này có thể dài liên tục hoặc phân chia thành các đoạn.

Ở cơ cấu này, trống phanh quay ngược chiều kim đồng hồ và guốc phanh bên trái là guốc xiết cong, guốc bên phải là guốc nhả. Vì vậy, má phanh bên guốc xiết dài hơn má phanh bên guốc nhả với mục đích để hai má phanh có sự hao mòn như nhau trong quá trình sử dụng do má xiết chịu lực lớn hơn.

Còn đối với cơ cấu phanh được mở bằng cam ép, lực tác dụng lên hai má phanh là như nhau nên độ dài của chúng bằng nhau.

a. Cơ cấu phanh đối xứng qua trục với dẫn động phanh khí nén

Cơ cấu phanh được bố trí trên cầu trước của ô tô tải vừa và xe tải nặng



Hình 1.4. Cơ cấu phanh đối xứng qua trục với dẫn động phanh khí nén.

Cấu tạo cơ bản bao gồm :

- Phần quay là tang trống.
- Phần cố định: là mâm phanh được bắt cố định trên dầm cầu. Trên mâm phanh có lắp hai chốt cố định để lắp ráp với lỗ tựa quay của guốc phanh. Hai chốt cố định này có thể bố trí lệch tâm để điều chỉnh khe hở

hóa khí cần thiết, để đảm bảo khả năng ổn định điều khiển momen phanh.

1.1.1.2. Cơ cấu phanh đĩa

a. Ưu nhược điểm của phanh đĩa Ưu điểm:

- Cơ cấu phanh đĩa cho phép momen phanh ổn định khi hệ số ma sát thay đổi, điều này giúp cho bánh xe bị phanh làm việc ổn định, nhất là ở nhiệt độ cao;

- Thoát nhiệt tốt, khối lượng các chi tiết nhỏ, kết cấu gọn;

- Dễ dàng sửa chữa và thay thế tấm ma sát;

- Dễ dàng bố trí cơ cấu tự động điều chỉnh khe hở của má phanh và đĩa phanh.

Nhược điểm:

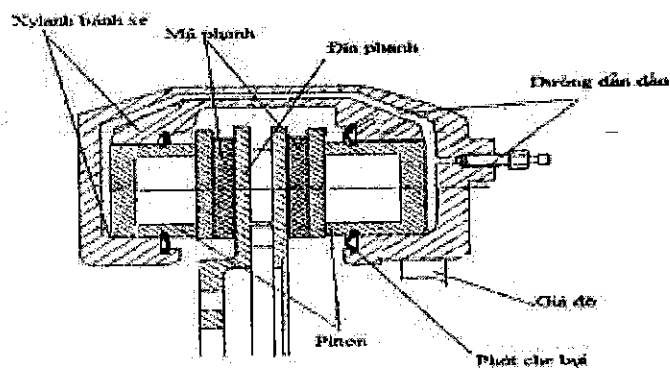
- Bụi bẩn dễ bám vào má phanh và đĩa phanh, nhất là khi xe đi vào chỗ bùn lầy và làm giảm ma sát giữa má phanh và đĩa phanh, giảm hiệu quả phanh;

- Mòn má phanh nhanh do không được che chắn, bảo vệ;

b. Phân loại cơ cấu phanh đĩa

Cơ cấu phanh đĩa được chia thành 2 loại: có giá đỡ xy lanh cố định và có giá đỡ xy lanh di động.

- Phanh đĩa có giá cố định.



Hình 1.5. Phanh đĩa có giá đỡ cố định

Cơ cấu phanh đĩa cố định được bố trí các loại ô tô nhỏ và dẫn động phanh bằng thủy lực. Loại phanh này giá đỡ được bắt cố định trên dầm cầu,

trên giá đỡ bố trí hai xi lanh bánh xe ở hai phía của đĩa phanh. Trong các xi lanh có piston, mà một đầu của nó luôn tì vào má phanh. Một đường dầu từ xi lanh chính dẫn đến cả 2 xi lanh bánh xe. Đối với loại phanh đĩa có giá đỡ cố định có ưu điểm sau:

- Cơ cấu phanh đĩa là loại hở nên thoát nhiệt tốt trong quá trình làm việc;
- Trọng lượng nhẹ hơn so với cơ cấu phanh tang trống;
- Khe hở giữa má phanh và đĩa phanh nhỏ ($0,05 \div 0,08$ mm), nhờ vậy dễ dàng tự động điều chỉnh khe hở này nhờ độ đàn hồi của vòng cao su bên trong rãnh xi lanh;
- Áp suất phân bố đều trên các bề mặt ma sát;
- Dễ dàng trong bảo dưỡng, sửa chữa cũng như thay thế.

Nhưng nó cũng có một số nhược điểm: loại này sử dụng hai xi lanh, nên lực ép lên đĩa có lúc không đều, dễ cong vênh đĩa; Các tấm ma sát hao mòn nhanh hơn so với phanh tang trống; Cơ cấu phanh đĩa không được cân bằng khi phanh vì sinh ra lực phụ tác dụng lên ổ bi bánh xe khi phanh.

• *Phanh đĩa có giá đỡ di động.*

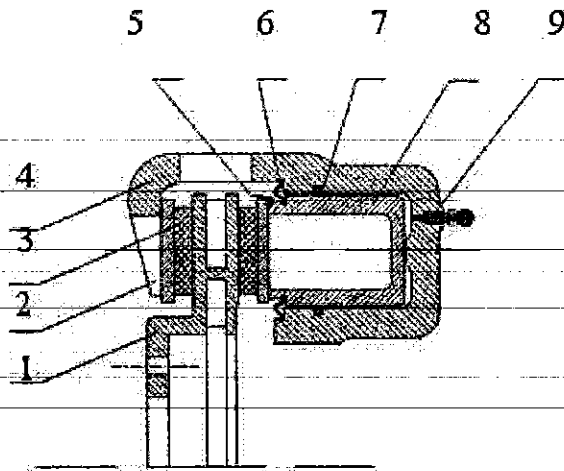
Cơ cấu phanh có giá đỡ di động chỉ có một xi lanh phanh bánh xe, điều khiển cả hai má phanh thông qua giá đỡ xi lanh di động.

Nguyên lí làm việc:

- Khi chưa phanh: do giá đỡ có thể di chuyển tự lựa dọc theo trục quy trên chốt trượt, nên khe hở giữa các má phanh và đĩa phanh hai bên là như nhau.

- Khi phanh: dầu từ xi lanh chính theo ống dẫn vào xi lanh bánh xe, piston sẽ dịch chuyển đẩy má phanh ép vào đĩa phanh.

- Do tính chất của lực và phản lực, kết hợp với kết cấu tự lựa của giá đỡ, nên giá đỡ mang má phanh còn lại cũng tác dụng một lực lên đĩa phanh theo hướng ngược với lực của má phanh do piston tác dụng. Kết quả là đĩa phanh được ép bởi cả hai má phanh và quá trình phanh xe được thực hiện.



1: Đĩa phanh, 2: Giá đỡ, 3: Má phanh, 4: Càng phanh, 5: Tấm thép bảo
mòn, 6: Tấm chắn bụi, 7: Cupen piston, 8: Piston, 9: Đường dầu vào

Hình 1.6. Cơ cấu phanh đĩa có giá đỡ di động

Ưu điểm:

- Cơ cấu phanh đĩa là loại hở nên thoát nhiệt tốt trong quá trình làm việc;
- Trọng lượng nhẹ hơn so với cơ cấu phanh tang trống;
- Khe hở giữa má phanh và đĩa phanh nhỏ ($0,05 \div 0,08$ mm), nhờ vậy dễ dàng tự động điều chỉnh khe hở này nhờ độ đàn hồi của vòng cao su bên trong rãnh xi lanh;
- Áp suất phân bố đều trên các bề mặt ma sát;
- Dễ dàng trong bảo dưỡng, sửa chữa cũng như thay thế.

Nhược điểm:

- Giá thành cao;
- Giá trị momen sinh ra phụ thuộc vào lực điều khiển, nên không phù hợp trên các xe đòi hỏi momen phanh lớn như xe tải vừa và nặng;
- Các tấm ma sát hao mòn nhanh hơn so với phanh tang trống;
- Cơ cấu phanh đĩa không được cân bằng khi phanh vì sinh ra lực phụ tác dụng lên ổ bi bánh xe khi phanh;
- Khó tránh được bụi bẩn vì không được che chắn.
- Đối với phanh đĩa được sử dụng chủ yếu trên các loại ô tô nhỏ và dẫn động phanh bằng thủy lực.

1.1.2.Hệ thống dẫn động phanh

Hệ thống phanh trên ô tô thường sử dụng các loại dẫn động điều khiển kiểu thủy lực, khí nén hoặc thủy- khí kết hợp. Cũng có một số ô tô sử dụng hệ thống dẫn động phanh điện. Dẫn động thủy lực và khí nén so với dẫn động điều khiển kiểu cơ khí, điện thì có những ưu điểm như sau :

- Công suất đầu ra lớn với kích thước và khối lượng nhỏ;
- Dễ biến đổi nguồn năng lượng của dòng chất lỏng hoặc dòng khí thành năng lượng cơ khí;
- Dẫn động điều khiển đơn giản và có độ chính xác cao, đặc biệt khi công suất đầu ra lớn ;
- Do lực (hoặc momen) được tạo ra trong dẫn động lớn trong khi khối lượng (hoặc momen quán tính) các chi tiết chuyển động nhỏ nên thời gian tác động nhanh khi công suất đầu ra vẫn lớn;
- Có kết cấu đơn giản và giá thành các cụm chi tiết tương đối rẻ;
- Dễ thoát nhiệt trong dẫn động nên có khả năng nâng cao công suất riêng của cơ cấu chấp hành;
- Dẫn động phanh thủy lực có ưu điểm là kết cấu đơn giản, khối lượng các chi tiết nhỏ và đặc biệt là thời gian chậm tác dụng (còn gọi là thời gian phản ứng) của dẫn động rất nhỏ ($\leq 0,03s$). Tuy nhiên, nhược điểm chính của dẫn động thủy lực là không tạo ra được lực (hoặc momen) lớn ở cơ cấu chấp hành do giới hạn của tỉ số truyền và khả năng tác động lực của lái xe. Do đó dẫn động phanh thủy lực thường được sử dụng trên các loại xe du lịch, xe vận tải nhỏ và trung bình. Dẫn động phanh khí nén so với dẫn động phanh thủy lực thì có ưu điểm lớn là điều khiển phanh nhẹ nhàng. Năng lượng cơ bắp của lái xe chỉ dùng để điều khiển việc đóng mở các cơ cấu điều khiển (ở đây là van tổng phanh). Để tạo ra lực phanh (hoặc momen) ở cơ cấu phanh thì nhờ nguồn năng lượng bên ngoài- khí nén. Nhờ vậy có thể tạo ra được công suất lớn ở cơ cấu phanh . Với đặc điểm này, dẫn động phanh khí nén thường được dùng trên xe buýt, các xe vận tải hạng vừa và

lớn ...Nhược điểm của dẫn động phanh khí nén là kết cấu phức tạp, có thêm nhiều cụm chi tiết trung gian, và đặc biệt thời gian phản ứng của dẫn động lớn ($\geq 0,6s$), đã làm tăng đáng kể thời gian phanh và quãng đường phanh ô tô . Do đó nhằm khai thác triệt để những ưu điểm của cả hai loại dẫn động trên và hạn chế đến mức thấp nhất các nhược điểm của chúng, người ta đã tạo ra dẫn động phanh kết hợp : dẫn động phanh thủy- khí, bằng cách tạo ra các mạch dẫn động kết hợp mắc song song hoặc mắc nối tiếp giữa dòng chất lỏng (thủy) và dòng chất khí (nén). Nhưng thường được áp dụng hơn cả là mạch khí nén nối tiếp với mạch thủy lực: phần khí nén để cho việc điều khiển được nhẹ nhàng và tạo ra áp lực phanh lớn; Phần thủy lực để giảm thời gian phản ứng của hệ thống và cho cơ cấu phanh có kết cấu đơn giản. Dẫn động phanh thủy- khí cũng thường được dùng cho các ô tô vận tải, ô tô buýt hạng vừa và lớn. Hiện nay trên một số ô tô con hiện đại người ta sử dụng dẫn động phanh bằng điện. Ưu điểm của hệ thống này là điều khiển nhẹ nhàng, tác động nhanh và dễ tích hợp với các hệ thống điều khiển trên xe tạo thành một hệ thống đồng bộ nâng cao tính an toàn.

1.2.Vật liệu ma sát sử dụng trong các loại phanh ô tô

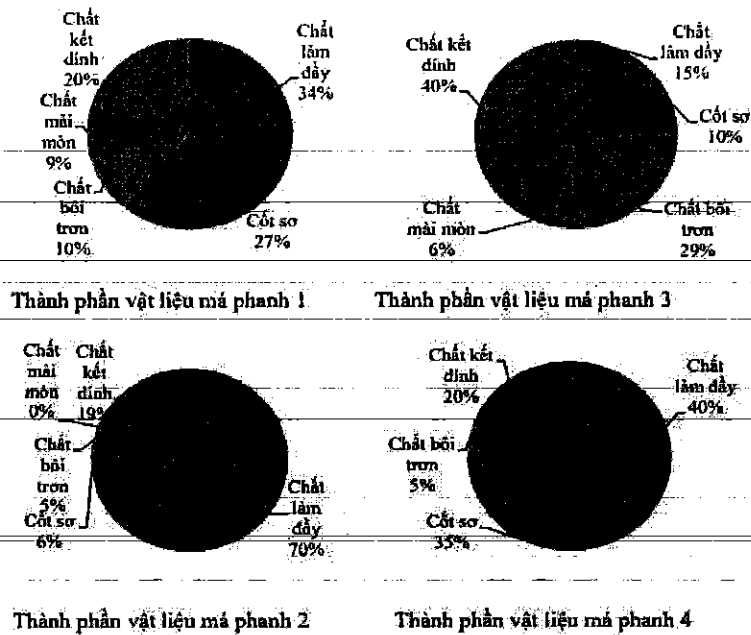
1.2.1.Thành phần vật liệu ma sát

Thành phần của vật liệu ma sát khá phức tạp để có thể đáp ứng được các yêu

cầu khắc nghiệt như:

- Có khả năng chống mài mòn cao;
- Có hệ số ma sát cao và ổn định;
- Chịu được nhiệt độ cao.

Các thành phần chính cấu thành vật liệu ma sát và tỷ lệ của chúng được mô tả trên các biểu đồ Hình 1.7.

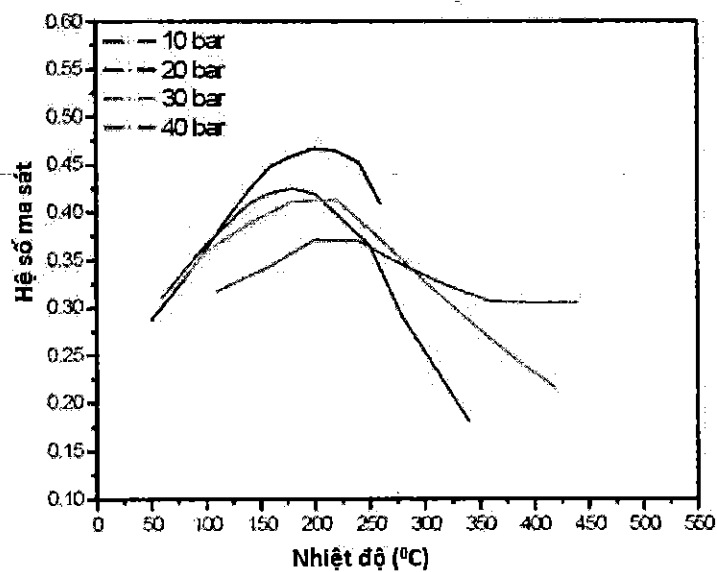


Hình 1.7. Các loại vật liệu sử dụng trong các loại cơ cấu phanh

Có thể nhận thấy rằng, các má phanh có thể được hình thành từ các vật liệu cơ sở khác nhau và tỷ lệ pha trộn chúng cũng khác nhau tùy theo trường hợp nhằm đạt được các tính chất đáp ứng các yêu cầu cụ thể.

1.2.2. Các tính chất của của vật liệu ma sát

Các loại vật liệu ma sát đều có hệ số ma sát phụ thuộc vào nhiệt độ. Tuy nhiên, quy luật biến thiên hệ số ma sát theo nhiệt độ của các loại vật liệu khác nhau không giống nhau. Một ví dụ của sự phụ thuộc của hệ số ma sát vào nhiệt độ được thể hiện trên Hình 1.8.



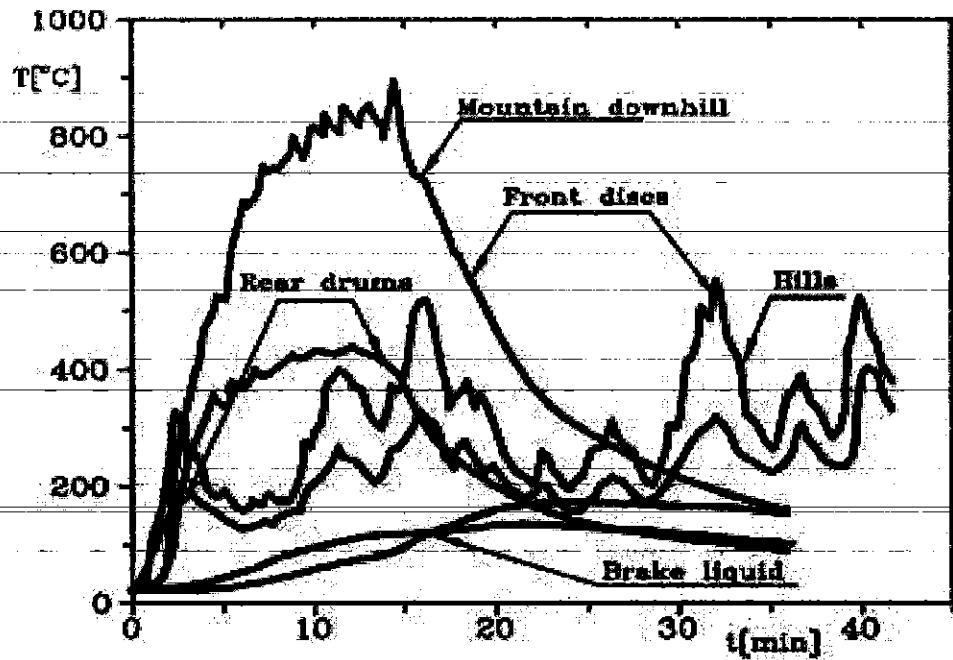
Hình 1.8. Biểu đồ sự phụ thuộc của hệ số ma sát vào nhiệt độ

Từ đồ thị Hình 1.8 ta thấy sự phụ thuộc của hệ số ma sát vào nhiệt độ rất rõ rệt khi nhiệt độ của vật liệu ma sát tăng từ 50°C đến khoảng 200°C thì hệ số ma sát cũng tăng theo làm tăng hiệu quả phanh; Tuy nhiên, khi nhiệt độ tiếp tục tăng cao hơn 200°C thì hệ số ma sát sẽ giảm rất nhanh dẫn đến nếu nhiệt độ tiếp tục tăng cao hơn nữa thì có thể dẫn đến hệ số ma sát có thể bằng không lúc đó sẽ rất nguy hiểm gây nên hiện tượng mất phanh. Quy luật biến thiên hệ số ma sát trên Hình 1.8 được coi là đặc trưng cho các loại vật liệu ma sát nói chung. Tuy nhiên, các kết quả nghiên cứu cho thấy các loại vật liệu khác nhau có quy luật khác nhau. Chẳng hạn, theo [4] có thể coi hệ số ma sát trong cơ cấu phanh ô tô giảm tuyến tính theo nhiệt độ. Ngoài sự phụ thuộc vào nhiệt độ, hệ số ma sát còn phụ thuộc vào nhiều yếu tố khác như vận tốc trượt, độ ẩm, ... Tuy nhiên, nội dung chính của chuyên đề xác định phạm vi nghiên cứu là ảnh hưởng của nhiệt độ đến hiệu quả phanh nên không phân tích các yếu tố ảnh hưởng khác.

1.3.Ảnh hưởng của nhiệt độ đến hệ số ma sát trong quá trình phanh ô tô

1.3.1.Sự tăng nhiệt độ của cơ cấu phanh khi phanh liên tục

Theo tài liệu The Automotive Chassis Volume 2(trang 244) [2], khi phanh liên tục nhiệt độ của cơ cấu phanh có thể tăng lên rất cao tới hơn 800°C (Hình 1.9). Khi nhiệt độ tăng cao như vậy thì hệ số ma sát sẽ giảm rất mạnh dẫn đến làm giảm hiệu quả phanh. Hiện tượng này rất nguy hiểm, vì khi hệ số ma sát giảm xuống quá thấp sẽ dẫn đến hiện tượng mất hoàn toàn khả năng phanh. Ngoài ra nhiệt độ quá cao trong cơ cấu phanh có ảnh hưởng lớn tới các chi tiết của cơ cấu phanh và hoạt động của nó. Tất cả các yếu tố trên đều ảnh hưởng xấu đến hoạt động của hệ thống phanh và gây mất an toàn chuyển động.



Hình 1.9. Nhiệt độ của các cơ cấu phanh khi phanh liên tục trên đường dốc
1.3.2. Sự suy giảm hiệu quả phanh do nhiệt độ

Trong quá trình phanh ô tô, năng lượng chuyển động (động năng) được chuyển hóa thành nhiệt ở các cơ cấu phanh. Nếu duy trì lực phanh trong thời gian đủ lớn thì nhiệt độ của các chi tiết trong cơ cấu phanh sẽ tăng lên đáng kể. Sự thay đổi nhiệt độ này sẽ làm giảm hệ số ma sát và giảm lực phanh dẫn đến hiệu quả phanh giảm như đã trình bày ở trên.

Ngoài ra, một phần nhiệt truyền qua xylanh phanh làm cho xylanh nóng lên

cùng với piston và dầu phanh. Do có đặc tính hút nước mạnh, dầu phanh sử dụng với thời gian dài nước thấm sẽ thấm thấu qua đường ống cao su nên khi nhiệt độ cao vượt quá điểm sôi, nước sẽ hóa hơi bên trong đường ống ra tạo bọt khí chiếm một phần thể tích của dầu hồi về bình chứa dầu phanh. Từ đặc tính không thay đổi thể tích khi bị nén, dầu thủy lực lẫn hơi nước bị nén làm giảm áp suất phanh trong các xylanh chấp hành tại các cơ cấu phanh.

Ngay cả với tình huống dầu phanh không lẫn nước, nhiệt độ tăng quá mức làm nóng và mềm gioăng kín tại xi lanh công tác của cơ cấu phanh,

thậm chí áp lực dầu nóng còn phá hủy gioăng lão hóa làm dầu thoát ra ngoài khi người lái đạp phanh. Khi đó lực tác động lên cơ cấu phanh gần như không còn, dẫn đến hiện tượng mất phanh.

Các loại cơ cấu phanh của ô tô hiện nay đều hoạt động dựa trên nguyên lý tiêu tán năng lượng chuyển động nhờ ma sát. Ma sát biến động năng chuyển động của ô tô thành nhiệt năng và thải nó ra ngoài không khí qua các chi tiết của cơ cấu phanh (chủ yếu là qua trống hoặc đĩa phanh).

Như vậy, lực phanh tại các bánh xe được hình thành nhờ ma sát sinh ra trong cơ cấu phanh. Mối quan hệ giữa lực phanh và hệ số ma sát có thể được viết dưới dạng tổng quát như sau:

$$P_p = \mu \cdot K_{cp}$$

Trong đó μ - hệ số ma sát; K_{cp} - hệ số phụ thuộc kết cấu phanh.

Biểu thức trên cho thấy, nếu trong quá trình phanh mà hệ số ma sát thay đổi thì lực phanh cũng thay đổi theo. Nghĩa là hiệu quả phanh phụ thuộc vào giá trị của hệ số ma sát trong quá trình phanh.

1.4.1. Tổng quan tình hình nghiên cứu trong và ngoài nước

1.4.1. Tổng quan về tình hình nghiên cứu ở nước ngoài

Hiện nay, nghiên cứu nâng cao hiệu quả phanh ô tô đã và đang được các nhà nghiên cứu, thiết kế và chế tạo trên thế giới quan tâm nghiên cứu theo hướng hoàn thiện hệ thống dẫn động phanh như ABS, ABS+TRC,... và kết cấu cơ cấu phanh. Một số kết quả nghiên cứu về dẫn nhiệt cũng như trao đổi nhiệt đối lưu của cơ cấu phanh đĩa ma sát trong quá trình phanh ô tô sau: Supachai Lakkam và các cộng sự [1] đã nghiên cứu và khảo sát đặc tính rung động, thông gió trước và sau của đĩa phanh. Nghiên cứu cho thấy khi có hệ thống thông gió đã làm giảm độ rung của hệ thống phanh đĩa đến 43,5% khi phanh xe chuyển động với tốc độ 50(km/h). Nghiên cứu của C. Baron Saiz và các cộng sự [2] đã nghiên cứu quá trình làm việc của các loại đĩa phanh ở các điều kiện làm việc khắc nghiệt nhằm tìm ra phân bố nhiệt

độ và ứng suất nhiệt làm biến dạng các cơ cấu phanh; nghiên cứu đã đưa ra và kết luận trong số các đĩa phanh được nghiên cứu thì đĩa có rãnh hình cánh cong làm việc đạt hiệu quả hơn. Nikit Gupta và các cộng sự [3] đã nghiên cứu, phân tích phân bố nhiệt ở các vùng khác nhau cũng như thay đổi các loại vật liệu làm đĩa phanh và dùng phần mềm ANSYS để phân tích với các bề mặt đĩa phanh khác nhau. Choi và Lee [4] đã dùng phương pháp phần tử hữu hạn để phân tích sự dẫn nhiệt trong hệ thống phanh đĩa, quá trình phân tích vấn đề dẫn nhiệt khi kết nối giữa các thành phần của kết cấu phanh đĩa khi nhiệt do ma sát tạo ra. Quá trình mô phỏng bằng giải tích cho đĩa phanh với điều kiện quá trình phanh được lặp đi lặp lại nhiều lần từ đó tìm ra được sự phân bố nhiệt và áp suất trên các bề mặt đĩa khi phanh. Talati và Jalalifar [5] đã phân tích quá trình dẫn nhiệt của hệ thống phanh đĩa. Nội dung nghiên cứu là dựa vào phương trình dẫn nhiệt của đĩa phanh và má phanh được rút gọn dưới dạng phương trình dẫn nhiệt tổng quát phụ thuộc vào không gian và thời gian. Trong quá trình lấy đạo hàm của các phương trình dẫn nhiệt các thông số ảnh hưởng đã được đề cập như khoảng thời gian phanh, tốc độ của xe, hình dạng kích thước của các bộ phận của cơ cấu phanh, vật liệu chế tạo đĩa phanh, má phanh và phân bố áp suất trên đĩa phanh. Kang và Cho [6] đã phân tích hình dạng của các lỗ thông gió trên đĩa phanh, bộ phận mà ảnh hưởng đến bề mặt và đặc tính nhiệt của hệ thống phanh đĩa. Aleksander A.Yevtushenko và cộng sự [7] cũng đã sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn để tìm ra giải pháp cho sự cân bằng nhiệt động lực của ma sát và sự mài mòn đối với các loại vật liệu dùng để chế tạo má phanh đĩa. Từ đó xác định được sự thay đổi thời gian phanh, hệ số ma sát, momen phanh, tốc độ của động cơ, nhiệt độ trung bình tại vùng má phanh tiếp xúc với đĩa phanh và sự mài mòn do ma sát bề mặt. Tuy nhiên, các mô hình toán về dẫn nhiệt hoặc trao đổi nhiệt đối lưu của cơ cấu phanh ma sát đều xem nhẹ các lực và mô men bánh xe sinh ra trong quá trình phanh ô tô.

1.4.2. Tổng quan về tình hình nghiên cứu ở trong nước

Trong thời gian qua trong nước đã có nhiều nhà khoa học nghiên cứu về hệ thống phanh ô tô và đã có nhiều công trình nghiên cứu về hệ thống phanh theo hướng nâng cao hiệu quả của dẫn động phanh ô tô, tiêu biểu có thể nói đến các công trình sau: Luận án tiến sĩ của Dương Tiến Minh [8] về nâng cao chất lượng phanh ô tô quân sự với hệ thống phanh có lắp bộ điều hòa lực phanh, nhằm nâng cao chất lượng phanh của ô tô quân sự sử dụng trong Quân đội nhân dân Việt Nam. Trong công trình nghiên cứu của Hồ Hữu Hùng [9], nghiên cứu xây dựng bộ điều khiển điện tử hệ thống phanh ABS, sử dụng phương pháp điều khiển theo ngưỡng gia tốc cho bộ chấp hành loại 4 van 3 vị trí. Nguyễn Sỹ Đình [10], đã đề xuất thiết lập mô hình tính toán động lực học dẫn động phanh thủy lực theo mô hình đàn hồi và lắp đặt, thử nghiệm hệ thống ABS lên xe UAZ - 31512 nhằm nâng cao chất lượng xe chỉ huy trong quân đội. Nguyễn Văn Tiềm [11] đã ứng dụng lý thuyết điều khiển hiện đại điều khiển thích nghi (logic mờ) và mạng nơ ron nhân tạo, để điều khiển chống bó cứng bánh xe khi phanh trên mô hình mô phỏng $\frac{1}{4}$ xe. Luận án tiến sĩ của Lại Năng Vũ [12] đã tiến hành nghiên cứu hệ thống điều khiển quá trình phanh ô tô, đề xuất cấu trúc và mô phỏng bộ điều khiển chống hãm cứng bánh xe khi phanh có kể đến điều chỉnh góc quay thân xe. Xây dựng được thuật toán điều khiển, thiết kế, chế tạo bộ điều khiển điện tử cho hệ thống phanh dẫn động thủy lực có ABS trên ô tô con nhằm góp phần từng bước làm chủ khoa học kỹ thuật hiện đại trong ngành công nghiệp ô tô tại Việt Nam. Luận án tiến sĩ của Lê Anh Vũ [13], [15], [16] đã tiến hành nghiên cứu hiện tượng trượt quay bánh xe chủ động của xe tải 4x2 trên đường có hệ số bám khác nhau (2 bên bánh xe chủ động) từ đó đề xuất và chế tạo một mẫu (ban đầu) hệ thống chống trượt quay bánh xe với giải pháp tác động phanh bánh xe bị trượt quay trên cơ sở hệ thống phanh khí nén có ABS nhằm nâng cao tính năng động lực học cho ô tô. Nguyễn Anh Ngọc và các cộng sự [14] đã tiến hành mô phỏng và

phân tích tính toán bên cơ cấu phanh dầu từ trường nhằm hoàn thiện thiết kế trước khi tiến hành sản xuất, lắp ráp và chạy thử nghiệm. Tuy nhiên, hướng nghiên cứu về ảnh hưởng nhiệt độ của cơ cấu phanh đĩa ma sát đến hiệu quả của nó trong quá trình phanh vẫn đang là vấn đề mở cho các nhà nghiên cứu.

1.5. Kết luận chương 1

Đối với việc nghiên cứu tìm ra các giải pháp đảm bảo an toàn chuyển động của xe khi di chuyển là một vấn đề cần được quan tâm; Ngoài ảnh hưởng do các yếu tố về kết cấu của phanh thì vấn đề phát sinh nhiệt trong quá trình phanh cũng ảnh hưởng lớn hiệu quả phanh. Vì vậy, nghiên cứu chủ yếu tập trung vào sự ảnh hưởng của nhiệt độ đến hiệu quả phanh.

CHƯƠNG 2

CƠ SỞ LÝ THUYẾT TRUYỀN NHIỆT TRONG CƠ CẤU PHANH ĐĨA PHÁT SINH TRONG QUÁ TRÌNH PHANH

2.1. Nhiệt phát sinh trong quá trình phanh

Để cụ thể hoá nhiệm vụ của phương trình vi phân truyền nhiệt cần xem xét cùng với các điều kiện đơn trị (điều kiện biên)

- Điều kiện ban đầu: xác định phân bố nhiệt độ bên trong vật ở thời điểm ban đầu;
- Điều kiện biên: Các điều kiện tác động qua lại giữa môi chất và bề mặt ngoài của vật;
- Hình dạng, kích thước và các thuộc tính vật lý của vật.

Điều kiện ban đầu được cho dưới dạng quy luật phân bố nhiệt độ bên trong vật thể ở thời điểm ban đầu.

$$T(x, y, z, 0) = f(x, y, z) \quad (2.1)$$

Các trường hợp riêng của điều kiện giới hạn rất phong phú, nhưng chúng có thể được chia làm bốn nhóm cơ bản như sau:

- Điều kiện biên loại 1: Cho biết phân bố nhiệt độ trên bề mặt của vật ở thời điểm bất kỳ.

$$T_v(\tau) = f(x, y, z, \tau) \quad (2.2)$$

Trong đó:

$T_v(\tau)$ - Nhiệt độ trên bề mặt của vật;

x, y, z - Tọa độ mỗi điểm trên bề mặt của vật.

Khi nhiệt độ mọi thời điểm trên bề mặt vật bằng nhau và không phụ thuộc vào thời gian, điều kiện biên tiếp xúc loại 1 có dạng.

$$T_v(\tau) = const$$

- Điều kiện biên loại 2: Cho biết mật độ dòng nhiệt như một hàm thời gian với từng điểm trên bề mặt vật thể.

$$q_v(\tau) = -\lambda \left(\frac{\partial T}{\partial n} \right)_v \quad (2.3)$$

- Điều kiện biên loại 3: Cho biết quy luật trao đổi nhiệt giữa bề mặt vật thể và môi trường.

$$\alpha(\tau) \cdot [T_m(\tau) - T_v(\tau)] = -\lambda \left(\frac{\partial T}{\partial n} \right)_v \quad (2.4)$$

Trong đó:

$T_m(\tau)$ - Nhiệt độ môi trường.

Nếu môi trường không hấp thụ nhiệt thì:

$$\alpha = \alpha_t + \alpha_{td}$$

α_t - Hệ số trao đổi nhiệt.

α_{td} - Hệ số trao đổi nhiệt đối lưu.

- Điều kiện biên loại 4: Thể hiện đặc tính trao đổi nhiệt giữa bề mặt vật thể với môi trường trao đổi nhiệt giữa các vật cứng tiếp xúc khi mà nhiệt độ của các bề mặt tiếp xúc như sau:

$$\lambda_1(T_1) \left(\frac{\partial T}{\partial n} \right)_v = \lambda_2(T_2) \left(\frac{\partial T}{\partial n} \right)_v \quad (2.5)$$

Khi: $T_1(\tau) = T_2(\tau)$

Phương trình vi phân truyền nhiệt viết cùng với điều kiện đơn trị gọi là bài toán biên. Các điều kiện ban đầu trong các bài toán kỹ thuật thường thực hiện ở hình thức đơn giản nhất $T(x, y, z, 0) = T_0 = const$.

Theo đó nhiệt độ của vật trước khi nung nóng (làm mát) ở tất cả các điểm là như nhau. Điều kiện ban đầu có ảnh hưởng đáng kể tới trạng thái nhiệt độ của vật có hình dáng bất kỳ chỉ trong giai đoạn đầu của quá trình không ổn định. Trong những giai đoạn tiếp theo, sự phân bố nhiệt độ trong vật cơ bản được xác định bởi điều kiện giới hạn (điều kiện biên).

Điều kiện biên loại 1 và loại 2 thường ít gặp trong tính toán trạng thái nhiệt độ của các chi tiết động cơ nhiệt và động cơ điện. Trong thực tiễn tính toán các chi tiết trên ta thường nhận được điều kiện biên loại 3 và loại 4.

Một điều rất quan trọng là mức độ chính xác của kết quả cuối cùng khi tính sự phân bố nhiệt độ trong vật phụ thuộc phần lớn vào độ chính xác của các hệ số α và λ được đưa ra trong điều kiện biên. Việc chọn phương pháp giải bài toán biên không thực sự ảnh hưởng nhiều so với việc lựa chọn các cơ sở để đưa ra các giá trị α và λ .

Hệ số dẫn nhiệt λ có thể dễ dàng tìm thấy trong các sách tra cứu hoặc xác định bằng nhiều phương pháp thực nghiệm khác nhau. Việc xác định hệ số trao đổi nhiệt khó hơn rất nhiều. Giá trị α có thể tìm được thông qua giải các phương trình lớp biên sử dụng trong lý thuyết trao đổi nhiệt đối lưu hoặc từ sự phụ thuộc suy rộng nhận được trên cơ sở quá trình thực nghiệm nhiệt - vật lý.

Phương pháp thứ nhất có thể thực hiện khi đơn giản hoá yêu cầu câu hỏi, bởi thế khi tính các cấu trúc phức tạp phần lớn chọn phương pháp thứ hai. Tuy nhiên, thường thấy từ sự đa dạng của các mối liên hệ trong thực nghiệm và bán thực nghiệm.

2.2. Trường nhiệt độ của cơ cấu phanh

a. Phanh khẩn cấp

Trong quá trình phanh ô tô, toàn bộ động năng của khối lượng chuyển động của ô tô được chuyển hoá thành nhiệt năng tại các cơ cấu phanh. Một phần của lượng nhiệt này sẽ nung nóng các chi tiết trong cơ cấu phanh mà chủ yếu là đĩa phanh, phần còn lại toả ra ngoài không khí.

Phương trình cân bằng nhiệt được viết như sau:

$$\frac{G \cdot (V_0^2 - V^2)}{2 \cdot g} = m_r \cdot C \cdot T + \int_0^{\tau_p} k_r \cdot T \cdot d\tau \quad (2.6)$$

Trong đó:

m_f : Khối lượng đĩa phanh;

C : Nhiệt dung riêng của vật liệu làm đĩa phanh, (đối với gang, thép: $C= 500\text{J/kg. độ}$);

T - mức gia tăng nhiệt độ với môi trường xung quanh;

A_f : Diện tích phân tỏa nhiệt của đĩa phanh;

k_f : Hệ số truyền nhiệt từ đĩa ra môi trường không khí;

τ_p - Thời gian phanh

Về trái của biểu thức trên chính là tổn thất động năng của ô tô khi bị phanh từ vận tốc V_0 tới vận tốc V . Số hạng thứ nhất ở vế phải là lượng nhiệt nung nóng đĩa phanh, số hạng thứ hai là lượng nhiệt toả ra ngoài không khí.

Trong trường hợp phanh ngắt, thời gian phanh rất ngắn nên lượng nhiệt toả ra ngoài không khí rất nhỏ, có thể bỏ qua được, khi đó:

$$T = \frac{G(V_0^2 - V^2)}{2gm_f C} \quad (2.7)$$

b. Phanh liên tục trên dốc dài

- Trường hợp ngắt động cơ khi phanh:

Để tính mức gia tăng nhiệt độ khi phanh, ta viết phương trình cân bằng nhiệt:

$$\frac{P_p dS}{427} = G_f C . dT + A_f k_f V T d\tau \quad (2.8)$$

Trong đó:

S - quãng đường phanh (m);

G_f - Trọng lượng đĩa phanh và các chi tiết bị nung nóng (kg);

C - Nhiệt dung riêng của vật liệu đĩa phanh (đối với thép và gang:

$$C = 0,125 \text{ kcal / kg.}^\circ\text{C}$$

dT - Mức gia tăng nhiệt độ sau thời gian $d\tau$;

k_t - Hệ số truyền nhiệt giữa đĩa phanh và không khí (lượng nhiệt

truyền vào không khí từ 1m^3 diện tích bề mặt đĩa phanh trong một đơn vị thời gian với mức chênh nhiệt độ giữa đĩa phanh và không khí là 1°C và vận tốc tiếp tuyến của đĩa phanh là $1(\text{m/s})$

V - Vận tốc tiếp tuyến của đĩa phanh (m/s)

T - Mức chênh nhiệt độ giữa đĩa phanh T_t và không khí T_k : $T = T_t - T_k$

Trong trường hợp phanh ngắt, thời gian phanh rất ngắn thì có thể bỏ qua số hạng thứ hai ở vế phải của biểu thức (2.18). Khi phanh liên tục trong thời gian dài thì lượng nhiệt toả ra môi trường không khí chiếm tỷ trọng đáng kể cần tính đến lượng nhiệt này. Biến đổi biểu thức (2.8) và lấy tích phân ta được:

$$S = -\frac{G_t C}{A_t k_t} \ln \left(\frac{P_p}{427} - A_t k_t T \right) + c \quad (2.9)$$

Với c là hằng số thời gian.

Do khi bắt đầu phanh.

$$c = \frac{G_t C}{A_t k_t} \ln \frac{P_p}{427} \quad (2.10)$$

Kết hợp các biểu thức (2.9) và (2.10) ta được biểu thức tính nhiệt độ đĩa phanh:

$$T_t = T_k + \frac{P_p}{427 A_t k_t} \left(1 - e^{-\frac{S A_t k_t}{G_t C}} \right) \quad (2.11)$$

Để tính mức gia tăng nhiệt độ khi phanh một cách chính xác hơn, ta sử dụng phương trình cân bằng nhiệt:

$$P_p \frac{dS_p}{d\tau} = m_i C \frac{dT}{d\tau} + A_i k_i V_i T \quad (2.12)$$

Trong đó:

S_p - Quãng đường phanh (m);

m_i - Khối lượng đĩa phanh và các chi tiết bị nung nóng (kg); C -

Nhiệt dung riêng của vật liệu đĩa phanh;

dT - Mức gia tăng nhiệt độ sau thời gian $d\tau$;

A_i - Diện tích tỏa nhiệt của đĩa phanh;

k_i - Hệ số truyền nhiệt của đĩa phanh với không khí;

V_i - Vận tốc tiếp tuyến của đĩa phanh (m/s);

T - Mức chênh lệch nhiệt độ giữa đĩa phanh và không khí;

2.3. Kết luận chương 2

Qua chương 2 ta đã phân tích và làm rõ được các vấn đề phát sinh nhiệt trong quá trình phanh, tính toán trường nhiệt độ của cơ cấu phanh trong quá trình phanh.

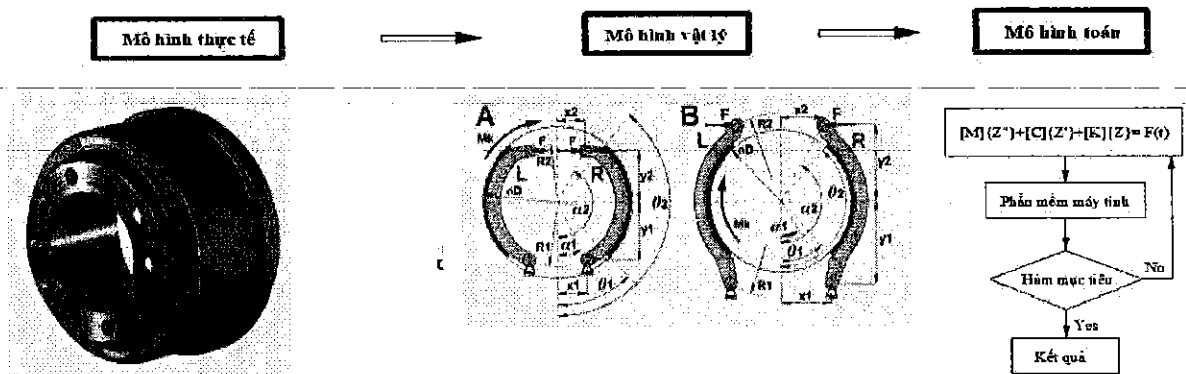
CHƯƠNG 3
XÂY DỰNG MÔ HÌNH VÀ PHÂN TÍCH NHIỆT, TRUYỀN NHIỆT
CỦA CƠ CẤU PHANH ĐĨA PHÁT SINH TRONG QUÁ TRÌNH
PHANH

3.1. Các phương pháp xây dựng mô hình nhiệt của cơ cấu phanh

Theo thống kê các công trình khoa học về lĩnh vực thiết lập mô hình và phân tích truyền nhiệt được công bố trên tạp chí, kỷ yếu hội nghị khoa học, chúng ta thấy cơ bản có 3 phương pháp xây dựng dưới đây:

3.1.1. Phương pháp giải tích

Căn cứ mô hình thực tế chúng ta tiến hành xây dựng mô hình vật lý dựa trên cơ sở các giả thiết, sau đó chúng ta dựa vào các phương thức trao đổi nhiệt cụ thể để xây dựng mô hình toán và dùng các phương pháp phân tích số hoặc sử dụng các phần mềm máy tính tiến hành mô phỏng và tối ưu kết cấu.

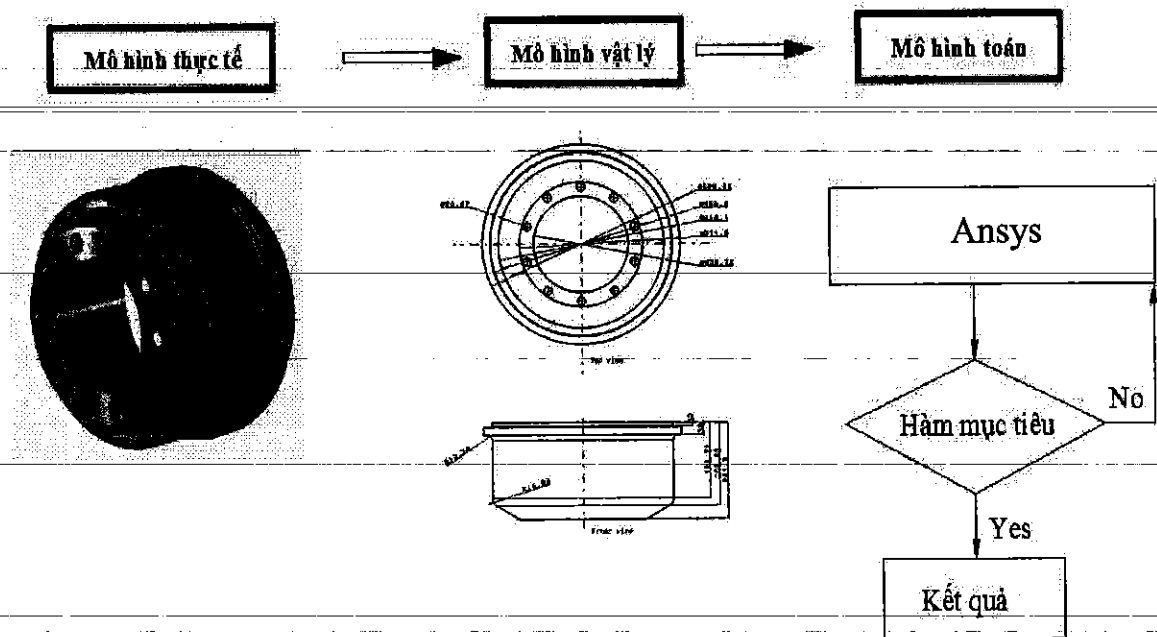


Hình 3.1. Sơ đồ xây dựng mô hình và phân tích nhiệt theo phương pháp giải tích

Phương pháp giải tích có ưu điểm dễ dàng phân tích ảnh hưởng các yếu tố phi tuyến của hệ thống. Tuy nhiên, nhược điểm là khó định dạng các thông số của mô hình (các thông số mô phỏng hầu hết các nhà sản xuất bảo mật) và phải làm thí nghiệm để xác định lại.

3.1.2. Phương pháp số

Căn cứ mô hình thực tế chúng ta tiến hành xây dựng mô hình 2D hoặc 3D dựa trên các phần mềm thiết kế CAD như Inventor, Pro-E, Catia, Solidworks,... Sau đó chúng ta chuyển sang các phần mềm phân tích thiết kế như Ansys, Comsol, Cuối cùng đặt các điều kiện biên tiến hành mô phỏng và phân tích tối ưu các thông số kết cấu theo sơ đồ hình 2.2.



Hình 3.2. Sơ đồ xây dựng mô hình và phân tích nhiệt theo phương pháp mô phỏng

Phương pháp mô phỏng có ưu điểm là dễ dàng xác định các thông số mô hình và thay đổi kết cấu của mô hình. Tuy nhiên, nhược điểm phân tích ảnh hưởng các yếu tố phi tuyến của hệ thống rất phức tạp.

3.2.2. Kết hợp giữa giải tích và mô phỏng

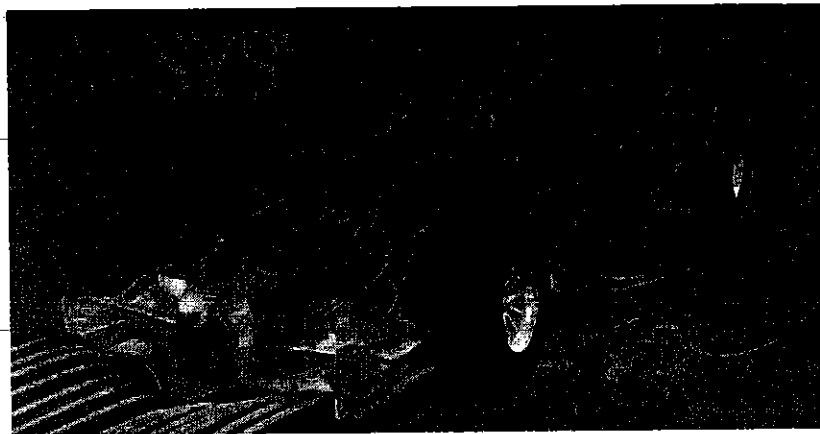
Kết hợp hai phương pháp trên nhằm tận dụng các ưu điểm của nó. Đó là khi xem xét các yếu tố phi tuyến của cơ hệ thì các nhà khoa học xây dựng các chương trình con dựa vào phương trình toán học mô tả đặc tính phi tuyến sau đó liên kết với các phần mềm phân tích như CAE, Ansys, Comsol, để tiến hành mô phỏng và phân tích quá trình.

3.2. Phần mềm CAE mô phỏng và phân tích

3.2.1. Các phần mềm CAE thông dụng

Các phần mềm CAE (Computer-Aided Engineering) là các công cụ sử dụng trong lĩnh vực kỹ thuật để mô phỏng và phân tích các hệ thống vật lý. Chúng cho phép kỹ sư và nhà nghiên cứu thực hiện các mô phỏng và phân tích về cơ học, điện tử, nhiệt, động học, chất lỏng, chất rắn và nhiều lĩnh vực khác. Dưới đây là một số phần mềm CAE phổ biến:

ANSYS: ANSYS là một trong những phần mềm CAE phổ biến nhất và mạnh mẽ nhất trên thị trường. Nó bao gồm nhiều công cụ phân tích như phân tích cơ học, nhiệt độ, điện, động học và động lực học.



Hình 3.3. Minh họa phần mềm Ansys

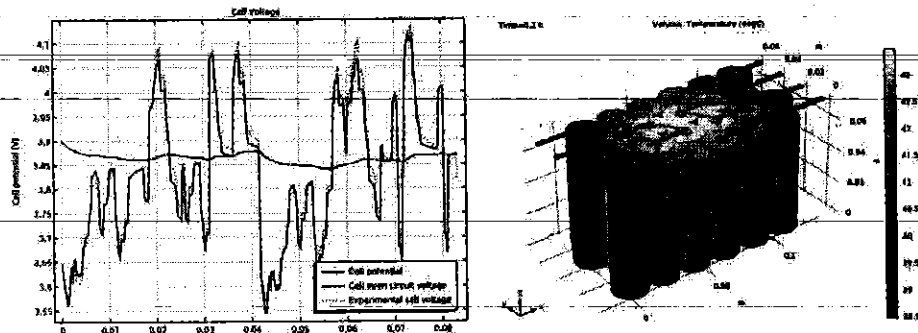
Abaqus: Abaqus là một phần mềm CAE chuyên về phân tích cơ học và động học. Nó cung cấp các công cụ mô phỏng và phân tích về chất rắn, kết cấu, nhiệt và động cơ.



Hình 3.4. Minh họa phần mềm Abaqus

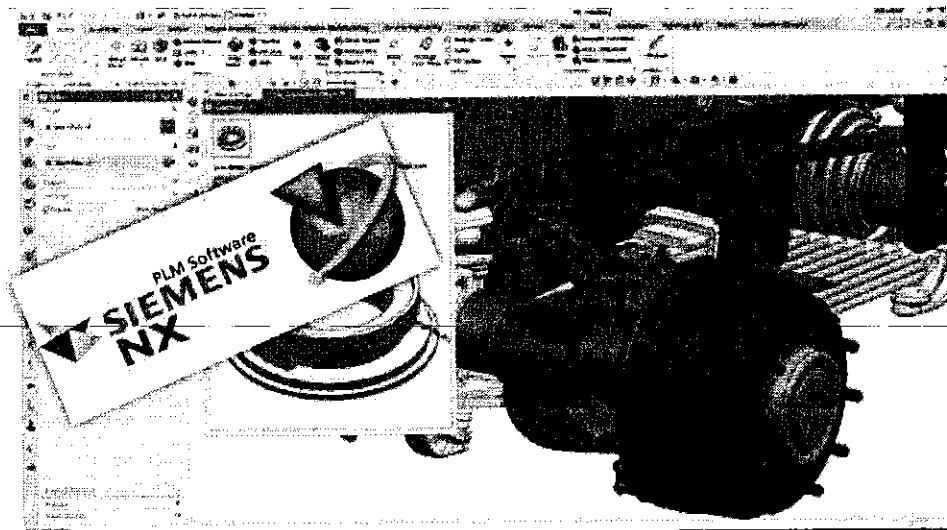
COMSOL Multiphysics: COMSOL Multiphysics là một phần mềm CAE linh hoạt cho phép mô phỏng và phân tích các vấn đề đa vật lý. Nó bao gồm nhiều mô-đun để xử lý các lĩnh vực như cơ học, điện tử, nhiệt, chất lỏng và hóa học.

COMSOL MULTIPHYSICS®



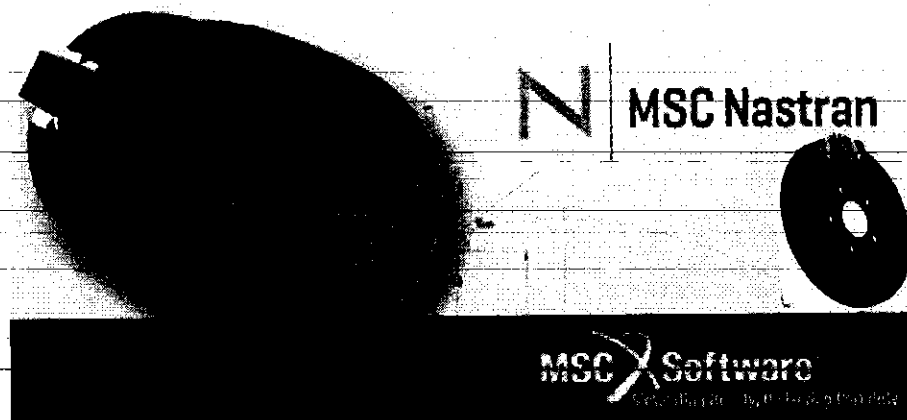
Hình 3.5. Minh họa phần mềm COMSOL

Siemens NX: Siemens NX là một phần mềm CAE toàn diện cho thiết kế và mô phỏng sản phẩm. Nó cung cấp các công cụ để thực hiện phân tích cơ học, nhiệt độ, chất lỏng và động lực học.



Hình 3.6. Minh họa phần mềm Siemens NX

MSC Nastran: MSC Nastran là một phần mềm phân tích cơ học có khả năng mô phỏng và phân tích về cấu trúc, độ rung, nhiệt và động lực học. Nó được sử dụng rộng rãi trong lĩnh vực hàng không, ô tô và công nghiệp đóng tàu.



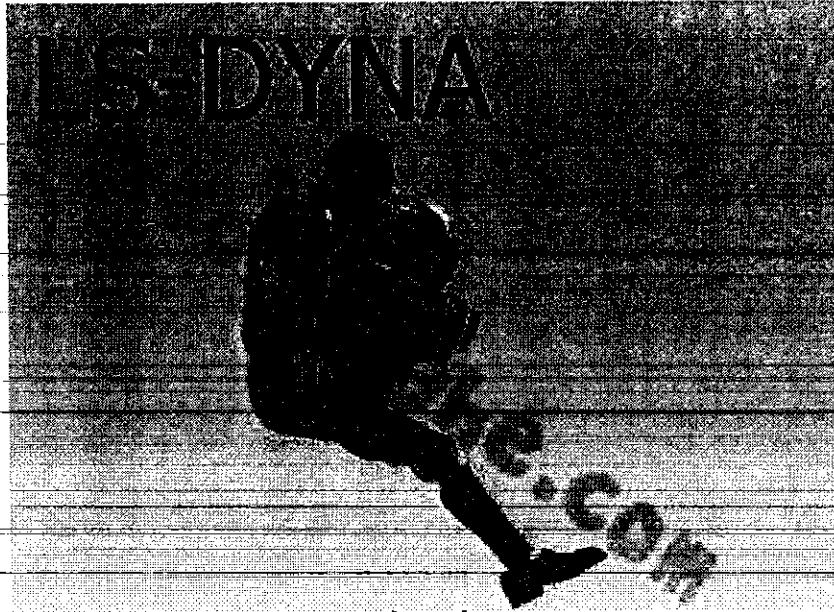
Hình 3.7. Minh họa phần mềm MSC Nastran

SolidWorks Simulation: SolidWorks Simulation là một mô-đun mô phỏng tích hợp trong phần mềm thiết kế SolidWorks. Nó cho phép người dùng thực hiện phân tích cơ học, nhiệt và chất lỏng trực tiếp từ mô hình CAD.



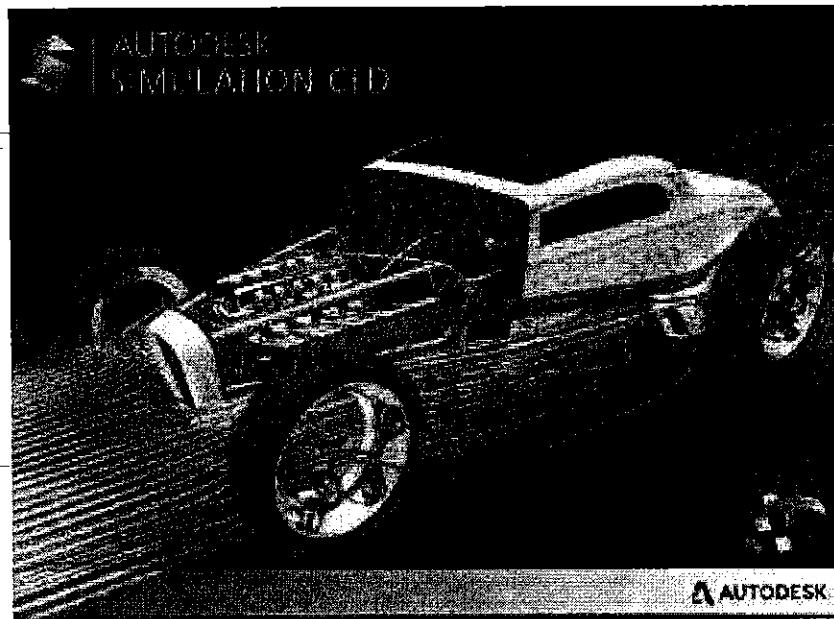
Hình 3.8. Minh họa phần mềm SolidWorks Simulation

LS-DYNA: LS-DYNA là một phần mềm CAE chuyên về mô phỏng và phân tích động lực học và va chạm. Nó được sử dụng rộng rãi trong lĩnh vực ô tô, hàng không vũ trụ, và ngành công nghiệp chế tạo.



Hình 3.9. Minh họa phần mềm LS-DYNA

Autodesk Simulation: Autodesk Simulation cung cấp các công cụ mô phỏng và phân tích về cơ học, nhiệt, chất lỏng và động lực học. Nó tích hợp trong nền tảng Autodesk và cho phép kỹ sư thực hiện phân tích trực tiếp từ mô hình CAD.



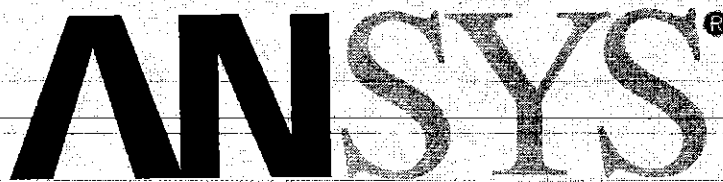
Hình 3.9. Minh họa phần mềm LS-DYNA

OpenFOAM: OpenFOAM là một phần mềm CAE mã nguồn mở được sử dụng cho mô phỏng và phân tích về động lực học chất lỏng. Nó cung cấp các công cụ để thực hiện mô phỏng dòng chảy, truyền nhiệt và tương tác lưu chất.

COMET: COMET (COMputational Mechanics Environment for Thermomechanics) là một phần mềm CAE được phát triển cho mô phỏng và phân tích về cơ học và nhiệt. Nó cung cấp các công cụ để thực hiện phân tích động cơ, cấu trúc và nhiệt độ.

3.2.3. Phân tích phần mềm Ansys

Phần mềm Ansys do Công ty phần mềm Ansys (Hoa Kỳ) phát triển, là một gói phần mềm hoàn chỉnh dựa trên phương pháp phần tử hữu hạn (PTHH) để mô phỏng ứng xử của một hệ vật lý khi chịu tác động của các loại tải trọng khác nhau. Phép phân tích các phần tử hữu hạn là một phương pháp nhờ sự trợ giúp của máy tính để xác định ứng suất, biến dạng của các kết cấu. Phương pháp này chia kết cấu thành các khối nhỏ với dạng chuẩn đã biết, sau đó bài toán tổng thể sẽ được giải quyết bằng việc sử dụng một phần tử liên kết. Phần mềm phân tích sẽ tự động tạo ra các biểu thức, phương trình để giải bài toán đặt ra và đưa ra những kết quả cần thiết.



Hình 3.10. Logo phần mềm Ansys

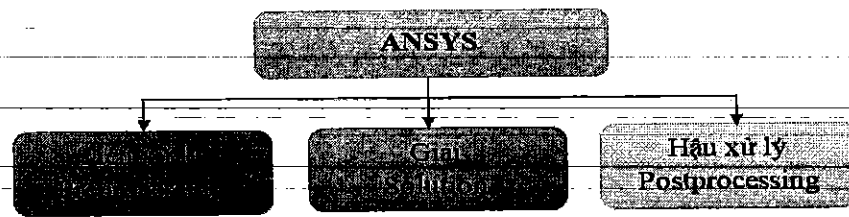
Phần mềm Ansys được sử dụng rộng rãi trên toang thế giới để giải quyết các bài toán thiết kế, mô phỏng tối ưu phân tích kết cấu quá trình truyền nhiệt, dòng chảy, điện, điện từ... Chính vậy, Ansys là công cụ mô phỏng hữu hiệu trong các lĩnh vực công nghiệp ô tô, hàng không vũ trụ...

Cấu trúc và Module chương trình Ansys

Về mặt cấu trúc, ANSYS chia ra thành 3 môđun lớn đó là: Môđun tiền xử lý (preprocessing); Môđun giải (solution); Môđun hậu xử lý (postprocessing).

+ Mô đun tiền xử lý cho phép người sử dụng có thể chuẩn bị những thao tác cần thiết để chuẩn bị cho quá trình giải bao gồm: xây dựng mô hình hình học, xác định kiểu phần tử, lựa chọn mô hình vật liệu, chia lưới

phần tử hữu hạn, điều khiển lưới và đặt bài toán tiếp xúc.

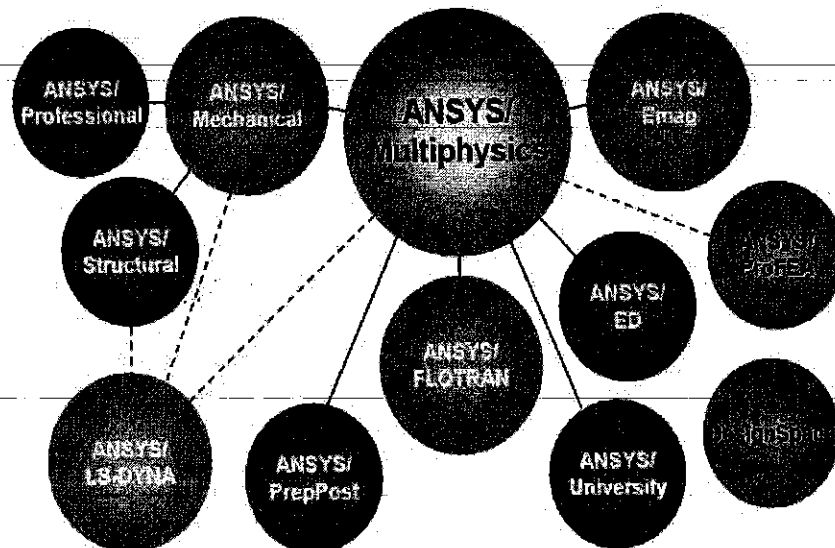


Hình 3.11. Cấu trúc chung của Ansys

+ Mô đun giải cho phép xác định các loại tải trọng cũng như các điều kiện biên có thể áp đặt vào mô hình, sau đó tiến hành giải.

+ Module hậu xử lý khá rất quan trọng trong bước phân tích bài toán, bởi vì sau khi tính toán mô phỏng cần phải biết các kết quả tính toán có phù hợp với thực tế hay không? Trường phân bố nhiệt độ trong vật thể phân bố thế nào? Mô hình lưới phần tử hữu hạn đã tối ưu hay chưa?

ANSYS là phần mềm công nghiệp vạn năng, chính vì vậy Ansys chứa nhiều Module sản phẩm riêng biệt, có thể kể đến các Module tiêu biểu trong hình 5.3



Hình 3.12. Module sản phẩm của Ansys

ANSYS Multiphysics là một module mô phỏng đa trường, đa vật lý. Module này giúp chúng ta giải quyết tốt các vấn đề liên quan đến kết cấu, nhiệt, điện – từ, va chạm, vật liệu mới, ... nhờ khả năng phân tích rất mạnh của nó. Ngoài ra ANSYS Mechanical APDL được tích hợp rất nhiều mô hình vật liệu và các loại phần tử dựa trên các lý thuyết nổi tiếng hiện tại. Ba

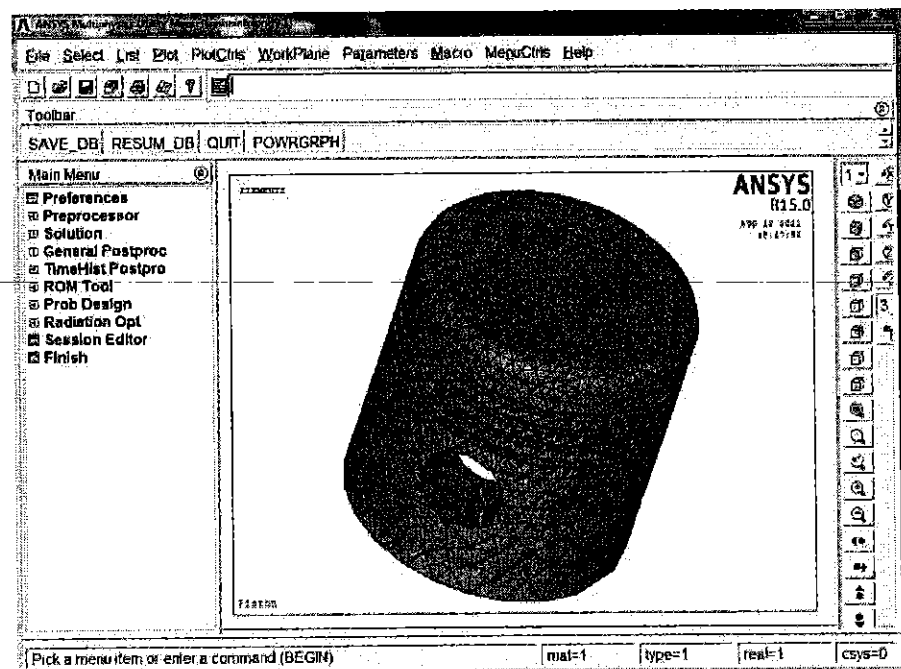
sản phẩm thành phần chính daanz xuất từ Ansys/Multiphysics là Ansys/Mechanical; Ansys/Emag và Ansys/Flotran

Ngoài ra còn các dòng sản phẩm khác như: Ansys/LS-Dyna để giải quyết các bài toán kết cấu có độ phi tuyến cao(ví dụ như bài toán va chạm ô tô)

DesignSpace: là công cụ gọn nhẹ cho phép phân tích và thiết kế nhanh trong các môi trường CAD khác nhau như Autodesk products, SolidWorks....

Ansys/ProFEA cho phép phân tích và tối ưu thiết kế trong môi trường CAD pro/Engineer

Ansys APDL (Ansys Parameter Design Language) tức là ngôn ngữ thiết kế tham số hóa. Ngôn ngữ thiết kế tham số hóa ANSYS (APDL) (APDL) là một cách thức dùng để tự động hoàn thành thao tác phân tích phần tử hữu hạn bình thường hoặc thông qua phương đại lượng biến thiên tham số hóa thiết lập ngôn ngữ phân tích mô hình, dùng để thiết chương trình phân tích trí năng hóa người dùng cung cấp quá trình phân tích phần tử hữu hạn phần tử hữu hạn hoàn toàn tự động.



Hình 3.13 Giao diện Ansys APDL

3.3. Phân tích nhiệt, truyền nhiệt của cơ cấu phanh

3.3.1. Xây dựng mô hình vật lý

Để nghiên cứu và mô phỏng truyền nhiệt cho cơ cấu phanh mô hình phanh đĩa với các kết cấu như hình 3.14.

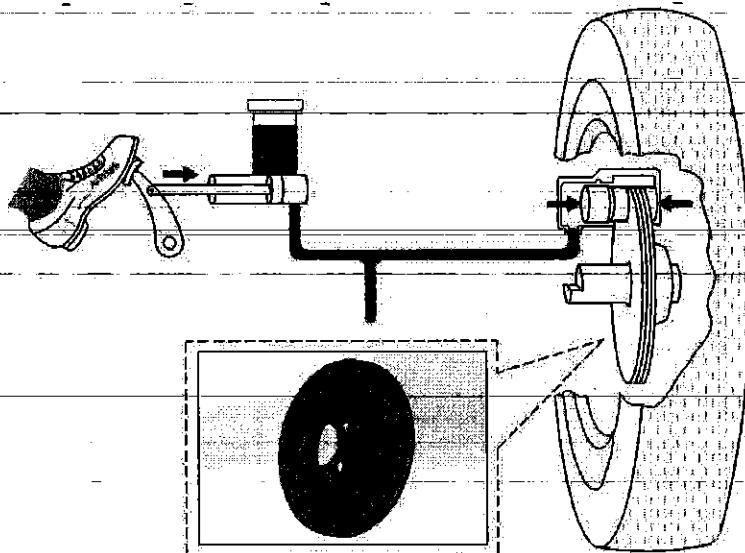
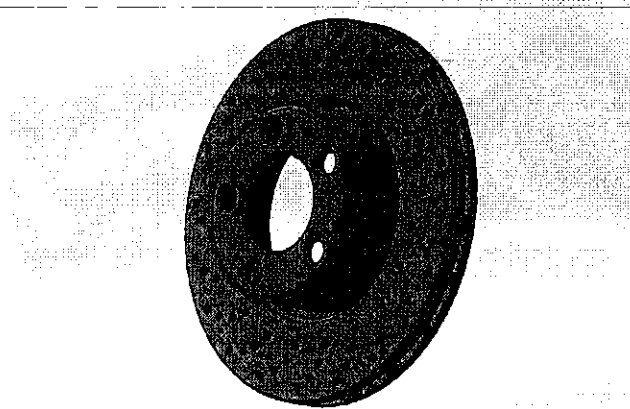


Fig. 1. Disc brake mechanism model

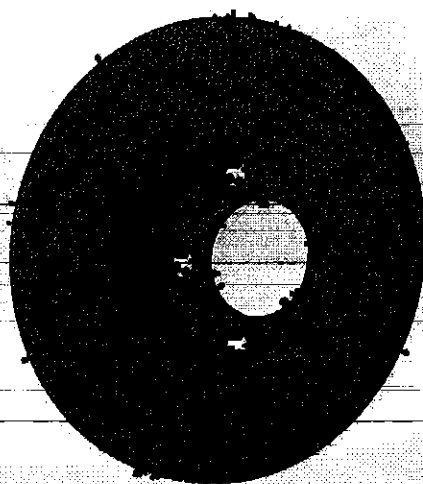
Hình 3.14 Mô hình xe tải và kích thước phanh đĩa

3.2.3. Xây dựng mô hình CAD

Như đã phân tích các phần mềm Ansys ở trên, trong giới hạn của của đề tài này cơ cấu phanh đĩa được xây dựng trong phần mềm Ansys. Quá trình thực hiện ban đầu bao gồm: định nghĩa kiểu phần tử, vật liệu, xây dựng mô hình, chia lưới phần tử. Kết quả xây dựng mô hình và chia lưới phần tử được thể hiện như hình 3.15 và hình 3.16



Hình 3.15 Cơ cấu phanh đĩa



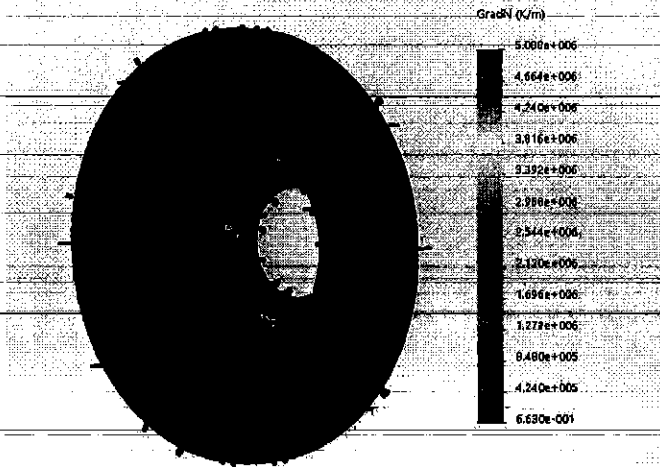
Hình 3.16 Chia lưới phần tử

3.4.Mô phỏng

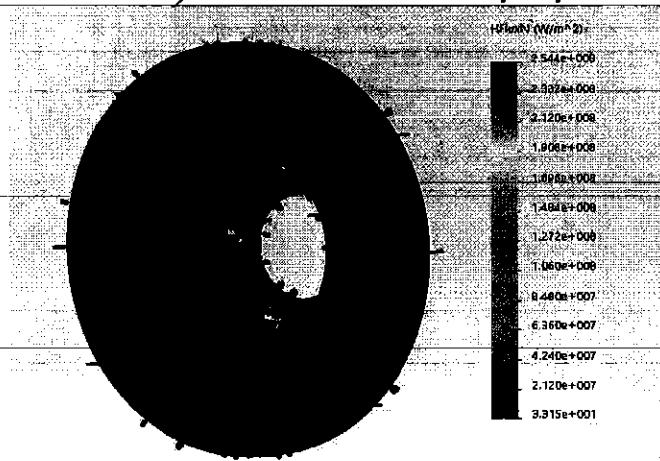
Để nghiên cứu bài toán truyền nhiệt cho cơ cấu phanh đĩa xe tải, mô hình đĩa phanh được xây dựng bởi phần mềm Autodesk Inventor. Sau đó, mô hình được trao đổi dữ liệu với phần mềm Ansys 15.0 để tạo mô hình phần tử hữu hạn. Các thông số đầu vào cho bài toán như bảng sau:

Bảng 1.Thông số đĩa phanh

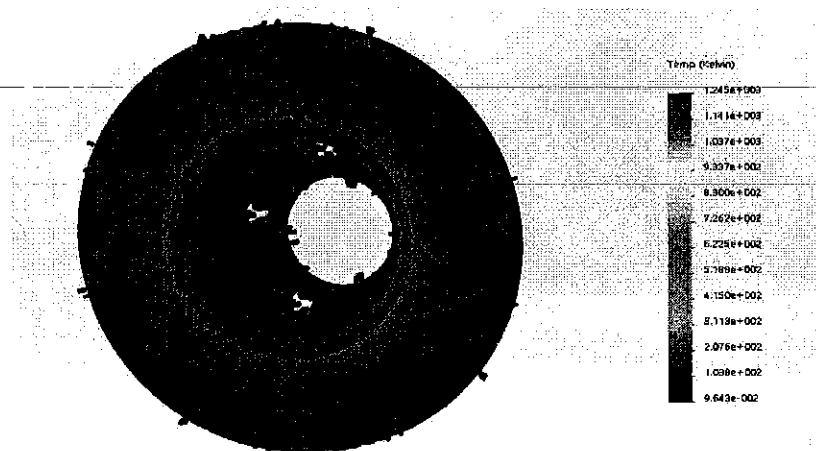
STT	Thông số	Giá trị	Đơn vị(kg)	Đơn vị(N)
1	Trọng ô tô không tải	1505	kg	15050
2	Phân bố tải trọng ra cầu trước/sau	979/ 526	kg	9790/ 5260
3	Trọng ô tô đầy tải	1981	kg	19810
4	Phân bố tải trọng ra cầu trước/sau	1288/693	kg	12880/6930
5	Quá tải	1675	kg	
6	Trọng lượng đĩa phanh	8,05	kg	
7	Bán kính đĩa phanh	156,5	mm	
8	Nhiệt dung riêng c Vật liệu thép hợp kim	500	J/kg.độ	
9	Hệ số dẫn nhiệt	0,12-0.15		



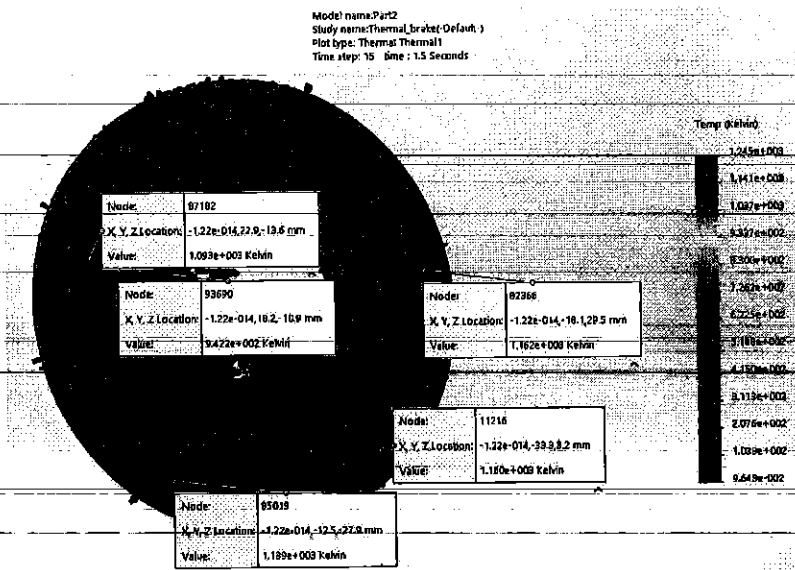
a) Vector Gradient nhiệt độ



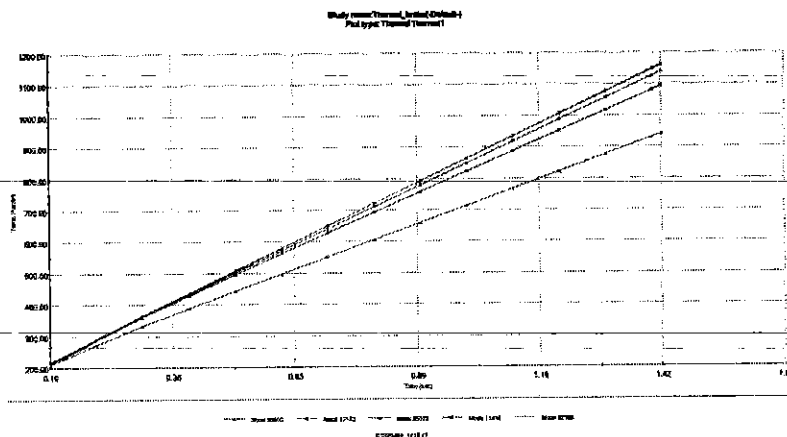
b) Vector thông lượng nhiệt độ



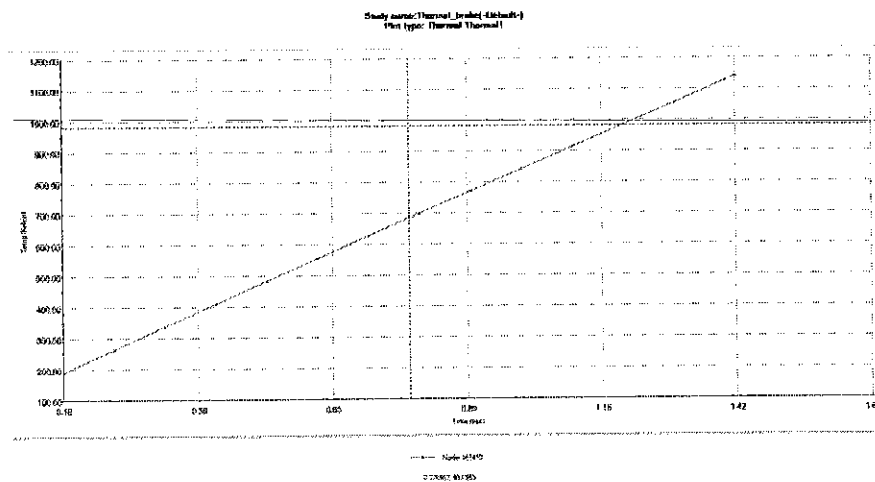
c) Phân bố nhiệt độ trên đĩa phanh



d) Giá trị nhiệt độ các nút phần tử khác nhau



e) Đồ thị so sánh các giá trị nhiệt độ phân bố trên đĩa phanh của nút phần tử



f) Đồ thị gia tăng nhiệt độ của 1 nút bất kỳ

Hình 3.17. Kết quả mô phỏng nhiệt độ trên đĩa phanh

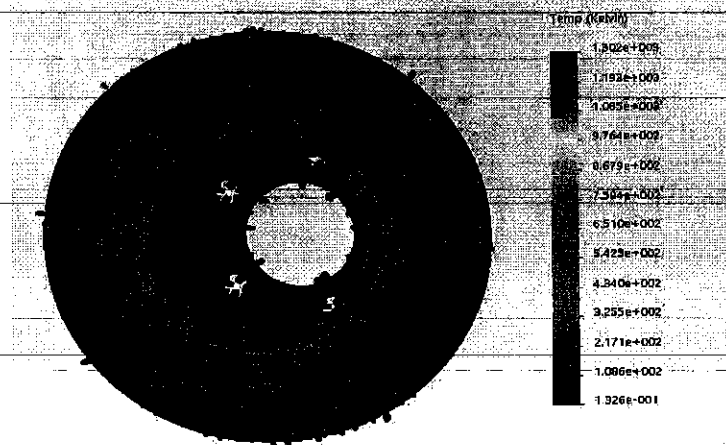
Hình 3.17 a,b,c,d thể hiện kết quả mô phỏng nhiệt độ trên bề mặt

phanh đĩa ta nhận thấy nhiệt độ càng xa trọng tâm đĩa phanh thì càng cao. Nhiệt độ cao nhất là những điểm nằm trên bán kính đĩa phanh có giá trị 1245°K và những điểm có giá trị nhiệt độ thấp nhất nằm cách tâm đĩa phanh $11,9\text{mm}$ có giá trị 937°K . Trên Hình 3.17 e, f thể hiện sự tăng nhiệt độ tại các nút theo thời gian phanh, ta thấy khi phanh $0,1\text{s}$ nhiệt độ là 200°K và khi phanh $1,42\text{s}$ nhiệt độ tăng nhanh lên đến 1150°K .

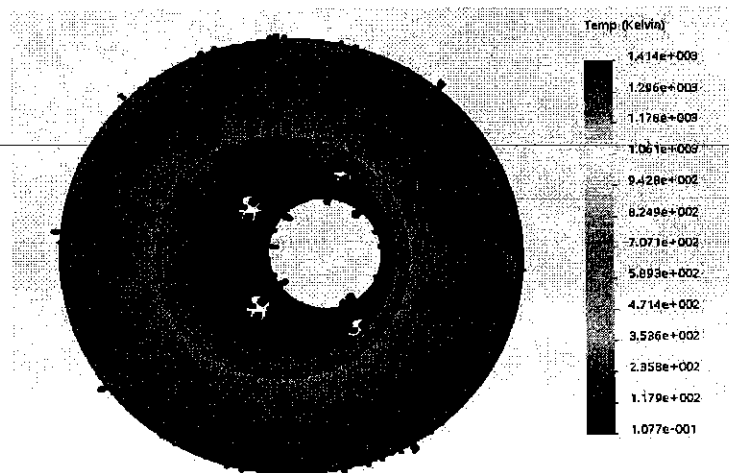
1. Khảo sát nhiệt và truyền nhiệt của cơ cấu phanh đĩa khi phanh liên tục trên dốc dài được thể hiện trên hình 3.18

Bảng 2 Giá trị nhiệt độ khi phanh trên dốc dài.

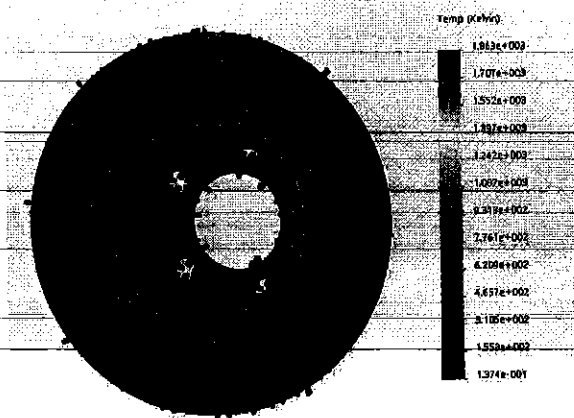
STT	Thời gian phanh	Giá trị nhiệt độ
1	5s	$976,4^{\circ}\text{K}$ - 1302°K
2	10s	1061°K - 1414°K
3	15s	1397°K - 1863°K



a) Kết quả phanh trong 5s



b) Kết quả phanh trong 10s



c) Kết quả phanh trong 15s

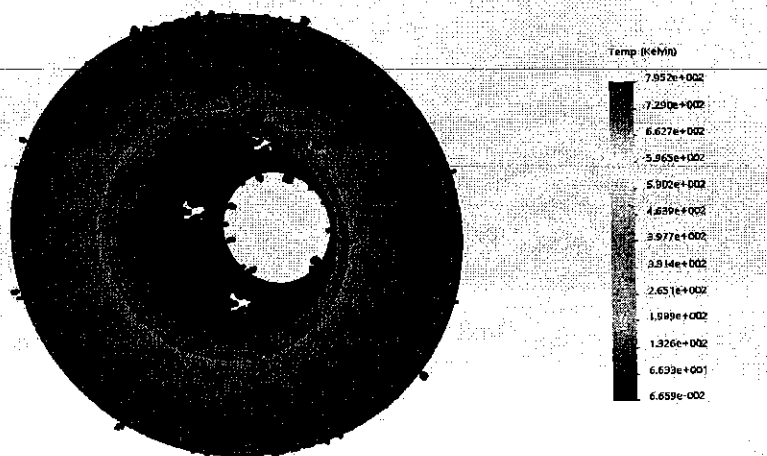
Hình 3.18. Kết quả mô phỏng nhiệt độ khi phanh trên dốc dài

Hình 3.18 thể hiện kết quả mô phỏng nhiệt độ khi phanh trên dốc dài tại các thời điểm khác nhau. Sự thay đổi nhiệt độ được thể hiện ở Bảng 3. Ta thấy nhiệt độ phanh lớn nhất khi phanh trong thời gian 5s là 1302°K và nhiệt độ phanh lớn nhất khi phanh trong thời gian 15s là 1863°K.

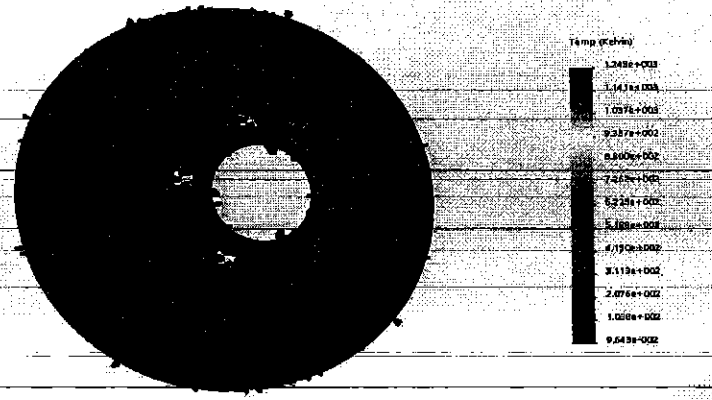
2. Khảo sát nhiệt đĩa phanh khi thay đổi tải trọng

Bảng 3 Giá trị nhiệt độ trên đĩa phanh khi thay đổi tải trọng ($V=30\text{km/s}$).

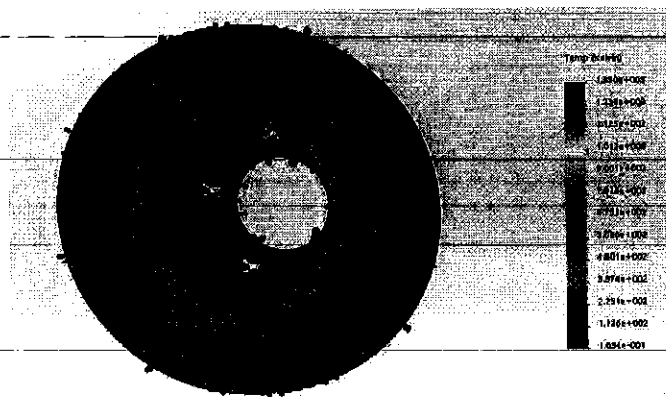
STT	Tải trọng	Giá trị	Giá trị nhiệt độ
1	Không tải	$P_d=12200.23 \text{ w}$	596,5°K-795,2°K
2	Toàn tải	$P_d=19219.7 \text{ w}$	933,7°K-1245°K
3	Quá tải	$P_d=20861.3 \text{ w}$	1013°K-1350°K



a) Phanh ở trạng thái không tải



b) Phanh ở trạng thái toàn tải



c) Phanh ở trạng thái quá tải

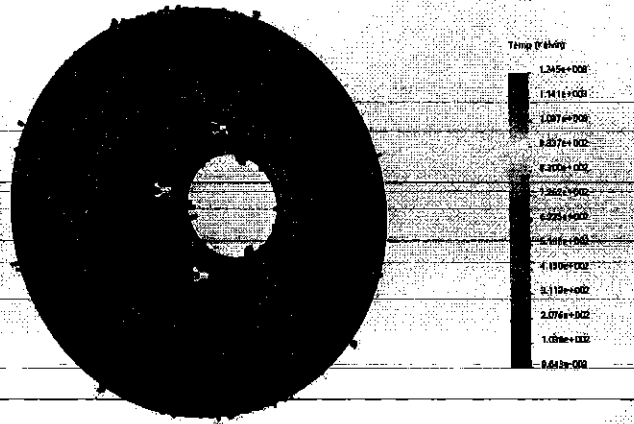
Hình 3.19. Kết quả mô phỏng nhiệt độ bề mặt đĩa phanh khi thay đổi tải trọng

Kết quả mô phỏng nhiệt độ trên đĩa phanh khi thay đổi tải trọng phanh được thể hiện trên hình 3.19 a,b,c,d và Bảng 3. Nhiệt độ lớn nhất khi phanh ở trạng thái không tải là 795,2°K và nhiệt độ lớn nhất khi phanh ở trạng thái quá tải 1350°K.

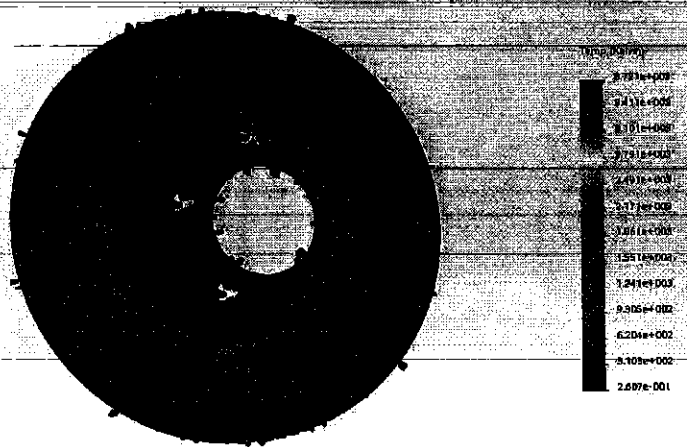
2. Khảo sát nhiệt đĩa phanh khi phanh ngắt

Bảng 4 Giá trị nhiệt độ trên đĩa phanh ở vận tốc khác nhau

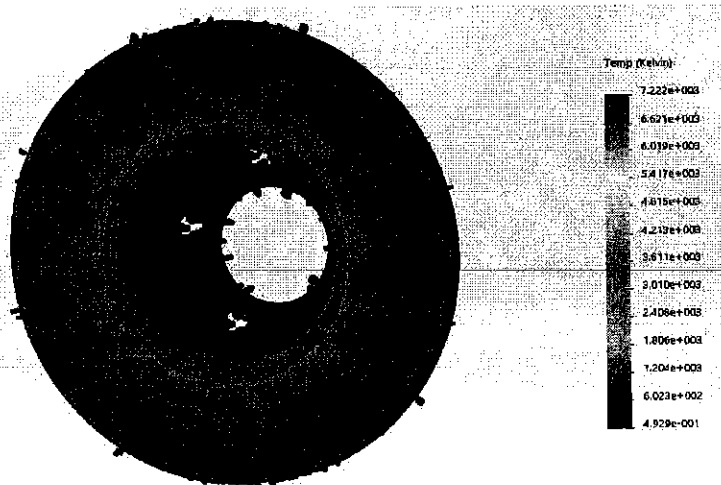
STT	Vận tốc	Giá trị tính toán	Giá trị nhiệt độ
1	30 km/h	$P_d=19219.7 \text{ w}$	933,7°K-1245°K
2	50 km/h	$P_d=57878.5 \text{ w}$	2791°K-3721°K
3	70 km/h	$P_d=112535.2 \text{ w}$	5417°K-7222°K
4	90 km/h	$P_d=187766.5 \text{ w}$	9031°K-12040°K



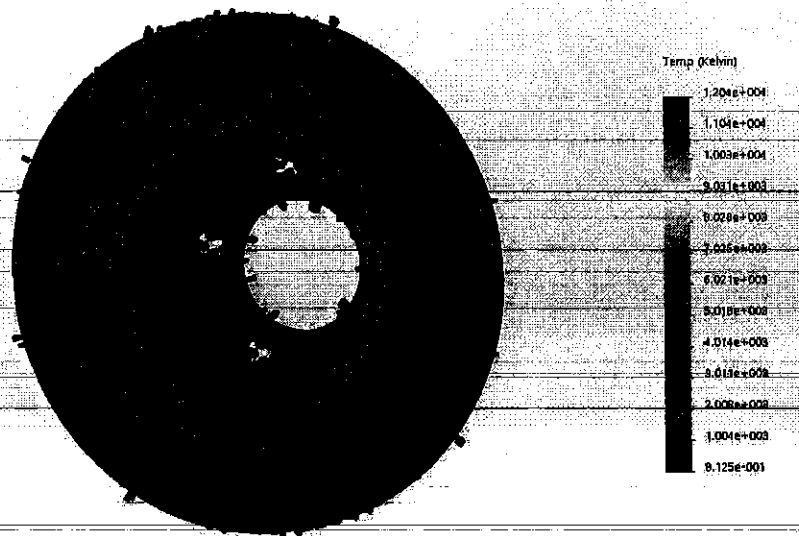
a) 30 km/h



b) 50 km/h



c) 70 km/h



d) 90 km/h

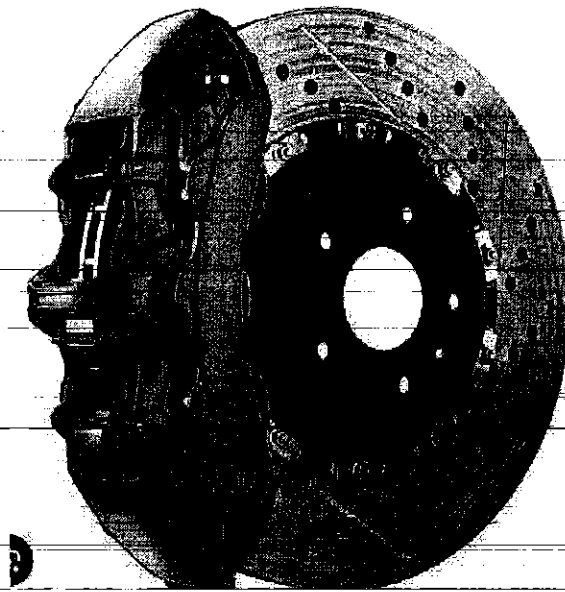
Hình 3.20. Kết quả mô phỏng nhiệt độ bề mặt đĩa phanh khi phanh ngắt

Giá trị nhiệt độ tại các điểm trên phanh khi phanh ngắt được thể hiện trên Hình 3.20 a,b,c,d và Bảng 4 ta thấy giá trị nhiệt độ lớn nhất khi phanh ở vận tốc 30km/h là 1245°K và giá trị nhiệt độ lớn nhất ở vận tốc 90km/h là 12040°K. Ta thấy ở tốc độ cao nhiệt sinh ra khi phanh rất lớn làm ảnh hưởng đến hiệu suất và tuổi bền của phanh.

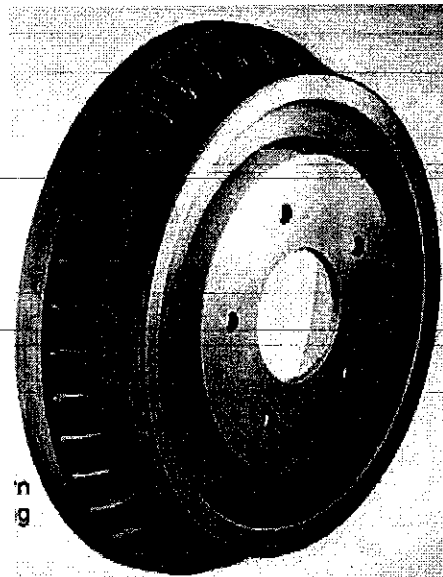
3.4. Giải pháp tản nhiệt cho cơ cấu phanh trên ô tô

Để giải quyết vấn đề thoát nhiệt cho cơ cấu phanh, có một số giải pháp được sử dụng. Dưới đây là một số giải pháp thông dụng:

Làm mát bằng không khí: Đây là phương pháp đơn giản nhất và phổ biến nhất. Nó sử dụng bề mặt phanh rộng để tản nhiệt thông qua quạt hoặc luồng không khí tự nhiên. Việc cải thiện thông gió và lưu thông không khí trong hệ thống phanh có thể được thực hiện bằng cách sử dụng lỗ thông gió hoặc khe hở phù hợp trên đĩa phanh và bề mặt phanh.

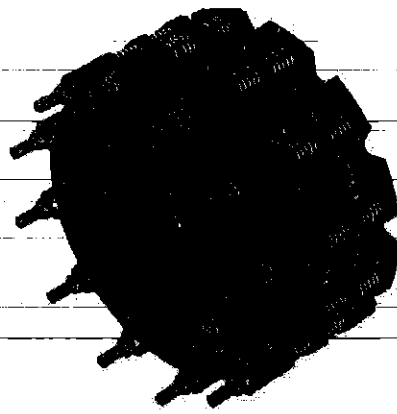


Hình 3.21. Tạo lỗ tản nhiệt cho cơ cấu phanh



Hình 3.22. Tạo gân, cánh tản nhiệt cho cơ cấu phanh

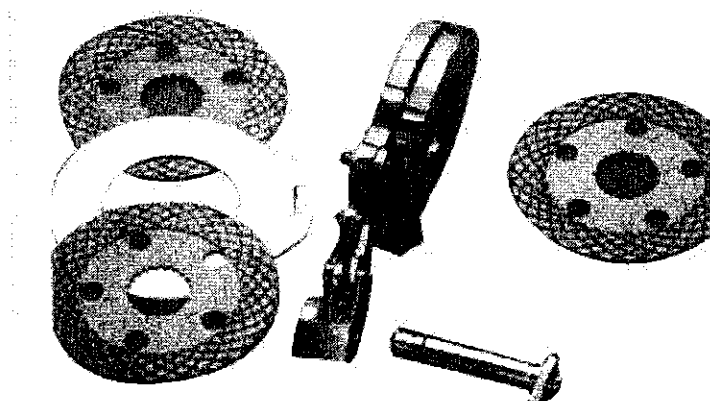
Hệ thống làm mát bằng nước: Trong một số ứng dụng đòi hỏi hiệu suất làm mát cao hơn, hệ thống làm mát bằng nước có thể được sử dụng. Nước được cấp vào đĩa phanh và sau đó được làm mát bằng các bình chứa nước và bộ làm lạnh.



Hình 3.23. Phanh làm mát bằng nước

Phanh làm mát bằng nước (WCB) là một giải pháp hấp thụ năng lượng cao được sử dụng để tạo lực căng động. Thiết kế của các đường dẫn nước bên trong và các tấm mài mòn hợp kim đồng cho phép tản nhiệt

Hệ thống làm mát bằng dầu: Hệ thống làm mát bằng dầu sử dụng dầu nhớt để tản nhiệt và làm mát cơ cấu phanh. Dầu được cung cấp thông qua ống dẫn và sau đó được làm mát qua bộ làm lạnh trước khi quay trở lại cơ cấu phanh.



Hình 3.24. Hệ thống làm mát bằng dầu

Hệ thống làm mát kết hợp: Kết hợp các phương pháp làm mát trên có thể tạo ra hiệu quả làm mát tốt hơn. Ví dụ, một hệ thống có thể sử dụng lời giải pháp làm mát bằng không khí chủ yếu, nhưng cũng có thể tích hợp bộ làm lạnh để làm mát nhanh hơn khi nhiệt độ tăng cao.

Sử dụng vật liệu phanh tiên tiến: Sử dụng vật liệu phanh có khả năng tản nhiệt tốt hơn cũng là một giải pháp quan trọng. Vật liệu phanh tiên tiến có khả năng dẫn nhiệt tốt hơn và tăng cường khả năng tản nhiệt của cơ cấu phanh.

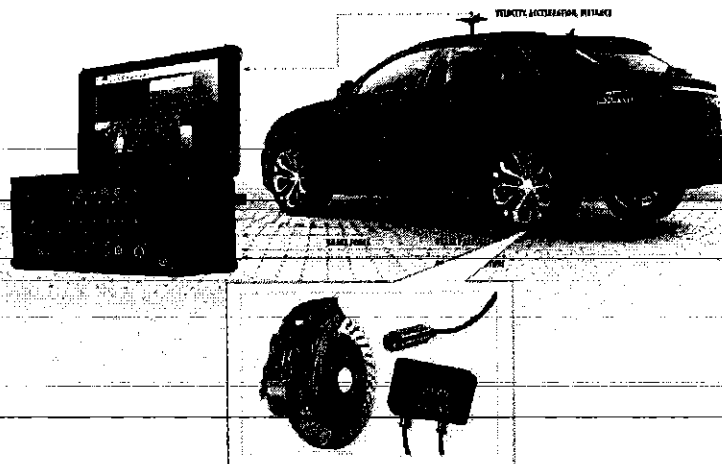
Kiểm soát nhiệt độ: Điều chỉnh nhiệt độ là một yếu tố quan trọng trong việc giải quyết vấn đề thoát nhiệt cho cơ cấu phanh. Dưới đây là một số phương pháp để kiểm soát nhiệt độ trong hệ thống phanh:

Hệ thống làm mát chủ động: Sử dụng các thành phần như bơm nước, quạt hoặc bộ làm lạnh để tạo ra sự làm mát chủ động cho cơ cấu phanh. Hệ thống này có thể được điều khiển bằng cách sử dụng cảm biến nhiệt độ và bộ điều khiển để duy trì nhiệt độ an toàn cho phanh.

Hệ thống làm mát tự động: Sử dụng cơ chế tự động để điều chỉnh nhiệt độ phanh. Ví dụ, một van điều khiển có thể được sử dụng để mở hoặc đóng lưu thông của chất lỏng làm mát, tùy thuộc vào nhiệt độ của cơ cấu phanh.

Bộ điều khiển nhiệt độ: Sử dụng bộ điều khiển nhiệt độ thông minh để theo dõi và điều chỉnh nhiệt độ phanh. Bộ điều khiển này có thể cung cấp thông tin về nhiệt độ hiện tại của phanh và thực hiện các biện pháp để duy trì nhiệt độ an toàn, như điều chỉnh lưu lượng không khí hoặc chất lỏng làm mát.

Vật liệu phanh tiên tiến: Sử dụng vật liệu phanh có khả năng chịu nhiệt tốt hơn. Vật liệu phanh tiên tiến có khả năng tản nhiệt hiệu quả hơn và giúp giảm nhiệt độ phanh trong quá trình hoạt động.



Hình 3.25. Điều khiển nhiệt độ làm mát.

Thiết kế cơ cấu phanh thông minh: Thiết kế cơ cấu phanh sao cho có luồng không khí tối ưu và lưu thông nhiệt độ tốt. Điều này bao gồm các yếu tố như kích thước, hình dạng và vị trí của các thành phần phanh, nhằm tạo điều kiện thoát khí tốt và tối ưu hóa việc tản nhiệt.

3.5.Kết luận chương

Sau khi hoàn thành nội dung chương 3, chúng ta có thể rút ra một số kết luận sau: giá trị nhiệt độ lớn nhất là 5417K và nhiệt độ thấp nhất là 2950K, vector Gradient nhiệt lớn nhất là 2.97, vector thông lượng nhiệt độ là 129.37 khi nhiệt độ bề mặt đĩa phanh tiếp xúc với má phanh là 400C ; (2) giá trị nhiệt độ lớn nhất là 3230K và nhiệt độ thấp nhất là 2950K, vector Gradient nhiệt lớn nhất là 4.63, vector thông lượng nhiệt độ là 201.34 khi nhiệt độ bề mặt đĩa phanh tiếp xúc với má phanh là 500C, cuối cùng, giá trị nhiệt độ lớn nhất đạt 3330K, vector Gradient nhiệt lớn nhất là 6.28, vector thông lượng nhiệt độ là 273.11 khi nhiệt độ bề mặt đĩa phanh tiếp xúc với má phanh là 600C

Các kết quả nghiên cứu là cơ sở để tính toán và thiết kế cơ cấu phanh cho xe tải. Ngoài ra là cơ sở để tối ưu giải pháp tản nhiệt cho cơ cấu phanh nhằm nâng cao độ bền cho phanh đĩa và hiệu quả phanh.

KẾT LUẬN KIẾN NGHỊ

Sau một thời gian thực hiện đề tài, nhóm nghiên cứu đã hoàn thành cơ bản nội dung đề tài nghiên cứu khoa học. Đề tài đã đạt được một số kết quả sau đây:

- Phân tích và chỉ ra được tính cấp thiết của đề tài;
- Phân tích đánh giá đặc điểm cấu tạo, vật liệu cơ cấu phanh. Các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình phanh
- Xây dựng được mô hình cơ cấu phanh tang trống trong CAD
- Tạo mô hình phần tử hữu hạn cho cơ cấu phanh để mô phỏng và

tích

- Đề tài đánh giá sự gia tăng nhiệt độ và vùng sinh nhiệt cao trên bề mặt

của trống phanh khi thay đổi điều kiện

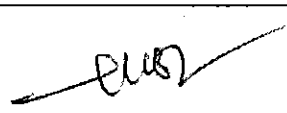
- Phân tích một số các giải pháp tản nhiệt cho cơ cấu phanh
- Tuy nhiên đề tài còn một số hạn chế, hy vọng trong tương lai sẽ hoàn thiện theo các hướng sau đây:

- Phân tích đánh giá thêm các điều kiện khai thác khác nhau
- Thí nghiệm thực tế để so sánh với kết quả mô phỏng để kiểm chứng tính đúng đắn của mô hình.

PHỤ LỤC: BÀI BÁO KHOA HỌC

[1] Nguyen Thanh Cong, Vu Van Hai: *Application of Solidworks Software to Simulate Heat Transfer in Disc Brake Mechanism*. International Journal of Engineering Inventions e-ISSN: 2278-7461, p-ISSN: 2319-6491 Volume 12, Issue 5 [May. 2023] PP: 586-591

THUYẾT MINH ĐỀ TÀI
KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ CẤP TRƯỜNG NĂM 2022

1. TÊN ĐỀ TÀI		2. MÃ SỐ		
Nghiên cứu hiệu quả truyền nhiệt của cơ cấu phanh đĩa ô tô		T2022-B28		
3. LĨNH VỰC NGHIÊN CỨU		4. LOẠI HÌNH NGHIÊN CỨU		
Khoa học Tự nhiên <input type="checkbox"/> Khoa học Kỹ thuật và Công nghệ <input checked="" type="checkbox"/>		Cơ bản	Ứng dụng	Triển khai
Khoa học Y, dược <input type="checkbox"/> Khoa học Nông nghiệp <input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Khoa học Xã hội <input type="checkbox"/> Khoa học Nhân văn <input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. THỜI GIAN THỰC HIỆN DỰ KIẾN: 12 tháng				
Từ tháng 1 năm 2022 đến tháng 12 năm 2022				
6. CHỦ NHIỆM ĐỀ TÀI				
Họ và tên: Nguyễn Thành Công		Học vị: ThS		
Chức danh khoa học:		Năm sinh: 1987		
Địa chỉ cơ quan:		Điện thoại di động: 0984381411		
Điện thoại cơ quan:		Fax:		
E-mail: nguyenthanhcong12487@gmail.com				
7. NHỮNG THÀNH VIÊN THAM GIA NGHIÊN CỨU ĐỀ TÀI				
TT	Họ và tên	Đơn vị công tác và lĩnh vực chuyên môn	Nội dung nghiên cứu cụ thể được giao	Chữ ký
1	Đỗ Văn Quân	Khoa KT Ô tô và MĐL	Xây dựng mô hình hóa phần tử hữu hạn	
2	Vũ Văn Hải	Khoa KT Ô tô và MĐL	Phân tích hiệu quả truyền nhiệt cơ cấu phanh	
8. ĐƠN VỊ PHỐI HỢP CHÍNH				
Tên đơn vị trong và ngoài nước		Nội dung phối hợp nghiên cứu		Họ và tên người đại diện đơn vị

Trong nước

Trong thời gian qua trong nước đã có nhiều nhà khoa học nghiên cứu về hệ thống phanh ô tô và đã có nhiều công trình nghiên cứu về hệ thống phanh theo hướng nâng cao hiệu quả của dẫn động phanh ô tô, tiêu biểu có thể nói đến các công trình sau: Luận án tiến sĩ của Dương Tiến Minh [8] về nâng cao chất lượng phanh ô tô quân sự với hệ thống phanh có lắp bộ điều hòa lực phanh, nhằm nâng cao chất lượng phanh của ô tô quân sự sử dụng trong Quân đội nhân dân Việt Nam. Trong công trình nghiên cứu của Hồ Hữu Hùng [9], nghiên cứu xây dựng bộ điều khiển điện tử hệ thống phanh ABS, sử dụng phương pháp điều khiển theo ngưỡng gia tốc cho bộ chấp hành loại 4 van 3 vị trí. Nguyễn Sỹ Đình [10], đã đề xuất thiết lập mô hình tính toán động lực học dẫn động phanh thủy lực theo mô hình đàn hồi và lắp đặt, thử nghiệm hệ thống ABS lên xe UAZ - 31512 nhằm nâng cao chất lượng xe chỉ huy trong quân đội. Nguyễn Văn Tiêm [11] đã ứng dụng lý thuyết điều khiển hiện đại điều khiển thích nghi (logic mờ) và mạng nơ ron nhân tạo, để điều khiển chống bó cứng bánh xe khi phanh trên mô hình mô phỏng $\frac{1}{4}$ xe. Luận án tiến sĩ của Lại Năng Vũ [12] đã tiến hành nghiên cứu hệ thống điều khiển quá trình phanh ô tô, đề xuất cấu trúc và mô phỏng bộ điều khiển chống hãm cứng bánh xe khi phanh có kể đến điều chỉnh góc quay thân xe. Xây dựng được thuật toán điều khiển, thiết kế, chế tạo bộ điều khiển điện tử cho hệ thống phanh dẫn động thủy lực có ABS trên ô tô con nhằm góp phần từng bước làm chủ khoa học kỹ thuật hiện đại trong ngành công nghiệp ô tô tại Việt Nam. Luận án tiến sĩ của Lê Anh Vũ [13], [15], [16] đã tiến hành nghiên cứu hiện tượng trượt quay bánh xe chủ động của xe tải 4x2 trên đường có hệ số bám khác nhau (2 bên bánh xe chủ động) từ đó đề xuất và chế tạo một mẫu (ban đầu) hệ thống chống trượt quay bánh xe với giải pháp tác động phanh bánh xe bị trượt quay trên cơ sở hệ thống phanh khí nén có ABS nhằm nâng cao tính năng động lực học cho ô tô. Nguyễn Anh Ngọc và các cộng sự [14] đã tiến hành mô phỏng và phân tích tính toán bền cơ cấu phanh dầu từ trường nhằm hoàn thiện thiết kế trước khi tiến hành sản xuất, lắp ráp và chạy thử nghiệm. Tuy nhiên, hướng nghiên cứu về ảnh hưởng nhiệt độ của cơ cấu phanh đĩa ma sát đến hiệu quả của nó trong quá trình phanh vẫn đang là vấn đề mở cho các nhà nghiên cứu.

9.2. Danh mục các công trình đã công bố thuộc lĩnh vực của đề tài của chủ nhiệm và những thành viên tham gia nghiên cứu (họ và tên tác giả; bài báo; ấn phẩm; các yếu tố về xuất bản)

a) Của chủ nhiệm đề tài

[1] Bùi Văn Cường, Lê Văn Quỳnh, Nguyễn Thành Công, “Tối ưu thông số thiết kế đệm cách dao động cabin xe lu rung”. Tạp chí Cơ khí Việt Nam, số đặc biệt tháng 3/2016, pp 143-148.

b) Của các thành viên tham gia nghiên cứu

(Những công trình tiêu biểu được công bố trong 3 năm gần nhất)

[1] Le Van Quynh, Bui Van Cuong, Le Xuan Long, Do Van Quan. Effects of

03/2017.

[15]. Lê Anh Vũ, Hồ Hữu Hải, Dương Ngọc Khánh, Đàm Hoàng Phúc (2017), “*Nghiên cứu đề xuất mô hình hệ thống chống trượt quay bánh xe chủ động dựa trên hệ thống phanh khí nén có ABS*”, Tạp chí Giao thông vận tải số tháng 3/2018, trang 12-23.

[16]. Lê Anh Vũ, Hồ Hữu Hải, Dương Ngọc Khánh, Đàm Hoàng Phúc (2017), “*Khảo sát ảnh hưởng của mô men phanh tới đặc tính tăng tốc của ô tô tải khi đi vào đường có hệ số bám không đồng đều*”, Tạp chí Cơ khí Việt nam số 9/2017, trang 25-30.

10. TÍNH CẤP THIẾT CỦA ĐỀ TÀI

Trong quá trình phanh, động năng của xe ô tô sẽ chuyển một phần chuyển hóa sinh ra nhiệt năng và nhiệt độ của các bộ phận cơ cấu phanh ma sát tăng cao có thể dẫn đến biến dạng hoặc nứt đĩa, suy giảm hệ số ma sát giữa má phanh và đĩa phanh, bay hơi dầu phanh, mài mòn bề mặt làm việc,... tất cả đều dẫn đến giảm hiệu quả phanh ô tô. Nghiên cứu nhiệt độ của cơ cấu phanh đĩa ma sát là một trong vấn đề cần thiết của quá trình thiết kế hệ thống phanh ô tô để xác định và dự báo được các vấn đề liên quan nhiệt như: (1) Nhiệt độ bề mặt cặp ma sát và phân bố nhiệt độ; (2) Ứng suất cơ nhiệt và nhiệt; (3) Biến dạng và lệch hướng nhiệt; (4) Đặc tính làm mát; (5) Nhiệt độ dầu phanh và các bộ phận phanh liên quan. Ngoài ra, phân tích nhiệt cơ cấu phanh ma sát cũng rất cần thiết để tối ưu hóa thiết kế những thông số hình học, tối ưu hóa đặc tính vật liệu, hoặc dự đoán hiệu suất ma sát phanh, độ mới và tuổi thọ của bộ phận, làm mát, tiếng ồn và rung cơ cấu phanh trong quá trình phanh ô tô. Nghiên cứu hiệu quả truyền nhiệt của cơ cấu phanh đĩa ô tô là cấp thiết.

11. MỤC TIÊU ĐỀ TÀI

- Phân tích được tổng quan đề tài;
- Xây dựng được mô hình hóa phần tử hữu hạn;
- Phân tích được hiệu quả truyền nhiệt cơ cấu phanh

12. ĐỐI TƯỢNG, PHẠM VI NGHIÊN CỨU

12.1. Đối tượng nghiên cứu

Cơ cấu phanh ô tô

12.2. Phạm vi nghiên cứu

Trong phạm vi của đề tài, mô hình hóa, mô phỏng, phân tích ảnh hưởng.

13. CÁCH TIẾP CẬN, PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

13.1. Cách tiếp cận

Nội dung nghiên cứu được tiếp cận qua các nghiên cứu trong nước và quốc tế liên quan đến nội dung đề tài trong các năm gần đây.

13.2. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu lý thuyết: mô hình hóa, mô phỏng phần tử hữu hạn

14. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU VÀ TIẾN ĐỘ THỰC HIỆN

14.1. Nội dung nghiên cứu (*Mô tả chi tiết những nội dung nghiên cứu của đề tài, ghi rõ nội dung là: báo cáo các bài báo bằng tiếng Anh (nếu sản phẩm là bài báo quốc tế) tại hội*

Nâng cao chất lượng đào tạo: đại học các ngành cơ khí, ô tô và xây dựng; sau đại học: ngành Kỹ thuật Cơ khí động lực

17.2. Đối với lĩnh vực khoa học và công nghệ có liên quan

Nâng cao chất lượng của đội ngũ giảng viên.

17.3. Đối với phát triển kinh tế-xã hội

17.4. Đối với tổ chức chủ trì và các cơ sở ứng dụng kết quả nghiên cứu

Tài liệu tham khảo dưới dạng báo cáo tổng kết.

18. KINH PHÍ THỰC HIỆN ĐỀ TÀI

Tổng kinh phí:

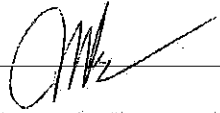
Bằng chữ:

(Dự toán chi tiết các mục chi đính kèm có xác nhận của các đơn vị liên quan.)

Ngày tháng năm 2022

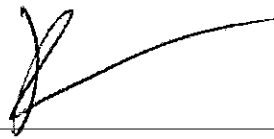
Chủ nhiệm đề tài

PHÒNG KHCN&HTQT



ThS. Nguyễn Thành Công
HỘI ĐỒNG KHOA

KT. HIỆU TRƯỞNG
PHÓ HIỆU TRƯỞNG



PGS.TS. Lê Văn Quỳnh

PGS.TS. Vũ Ngọc Pi

TO TAO * KHEN

Application of Solidworks Software to Simulate Heat Transfer in Disc Brake Mechanism

Nguyen Thanh Cong¹, Vu Van Hai²

^{1,2}Faculty of Vehicle and Energy Engineering, Thai Nguyen University of Technology, Thai Nguyen, Vietnam
Email: nguyencong_124@tnut.edu.vn

ABSTRACT: The braking performance of a vehicle could be significantly influenced by the temperature rise in the brake components. In order to investigate the heat transfer process, a disc brake mechanism was constructed using Solidworks software. The finite element method was employed as the basis for calculation. The results indicate that the highest temperature zone occurs at the brake pad and disc contact area. The research findings provide a foundation for the design and optimization of the brake mechanism to minimize heat generation in the brake system.

KEYWORDS: Disc Brake, Heat transfer, Simulation

Date of Submission: xx-xx-xxxx

Date of acceptance: xx-xx-xxxx

I. INTRODUCTION

Heat generated during braking can have several effects on the disc brake mechanism. The primary effect is that it causes thermal expansion, which can result in warping or distortion of the brake rotor. This warping can cause brake pulsation or vibration, which can lead to decreased braking performance and increased stopping distances. Additionally, prolonged exposure to high temperatures can cause brake pads to glaze over or harden, reducing their ability to grip the rotor and slowing the vehicle down. This phenomenon is known as brake fade and can be particularly dangerous when driving downhill or on long descents. Therefore, the study of heat transfer in brake mechanisms is always of great interest to scientists and designers.

Thermomechanical modeling plays a crucial role in optimizing disc brake designs, enhancing performance, and ensuring the durability and safety of the brake system. Ali Belhocine et al. have been discussed the thermal effects in disc brakes, such as heat generation, temperature distribution, thermal expansion, and material deformation [1]. The authors utilized finite element analysis (FEA) and computational fluid dynamics (CFD) techniques to simulate temperature distribution, stress levels, and fluid flow within the brake system. Welteji Bena et al. have been identified the critical areas prone to thermal stress-induced failures, such as thermal cracking and deformation. The authors employed finite element analysis (FEA) to model and simulate the thermal and stress distribution within the disc brake system. They consider factors such as material properties, geometry, and operating conditions. The results of the article showed the importance of considering the coupled thermal and stress behavior in disc brakes, and how such analysis can contribute to improving the design and reliability of braking systems in Volvo trucks[2]. Gongyu et al. have been utilized a numerical approach to model the thermal and stress distribution in the disc brake system. They considered the effect of a moving heat source, such as frictional heat generated during braking. The research findings offered valuable information for optimizing the design and performance of ventilated disc brakes. By understanding the thermal stress-coupling, engineers can enhance the durability, reliability, and braking performance of the system [3]. Bouchetara Mostefa et al have been employed a thermoelastic analysis to investigate the temperature distribution and resulting deformation in disk brake rotors. The analysis considers factors such as material properties, braking conditions, and heat transfer mechanisms. By understanding the thermoelastic behavior, the research contributed to the development of more reliable and efficient disk brake systems [4]. R.A.García-León et al have been utilized numerical simulations to examine the heat transfer characteristics and airflow patterns surrounding the disc brake. Factors such as brake geometry, operating conditions, and airflow velocity were taken into consideration. The study revealed a correlation between temperature distribution, cooling efficiency, and braking performance, emphasizing the significance of optimizing the airflow design to facilitate efficient heat dissipation [5]. Anant W. Nemade et al have been analyzed the heat conduction characteristics within the disk braking system through numerical simulations. The study reveals the significant impact of heat conduction on the longevity of friction pads. It highlights how heat transfer affects the temperature distribution and thermal stresses in the pads, ultimately influencing their wear and lifespan [6]. The main idea of this article is to develop a disc brake mechanism model using CAD software. Subsequently, the heat transfer process is analyzed and evaluated using SolidWorks software. The results highlight the region where the highest temperature is generated, providing a basis for design considerations.

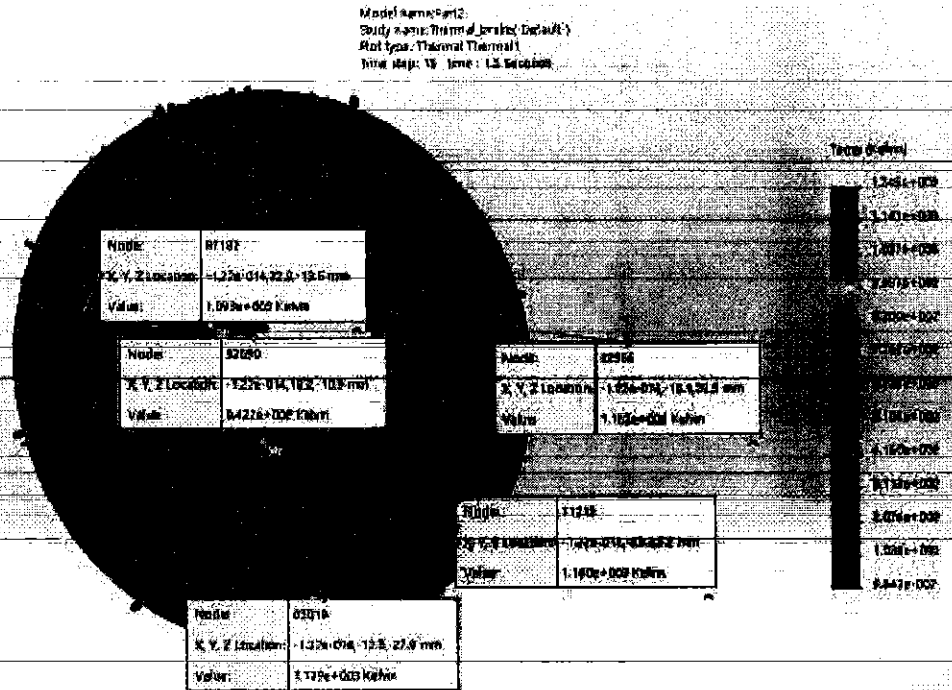


Fig. 3. Temperature values of different element nodes

Figure 2 and Figure 3 are illustrated the temperature distribution within the brake mechanism, highlighting the areas with the highest temperature generation. This information is crucial for identifying potential thermal issues and optimizing the design to manage heat effectively

Continuing the investigation, the study further explores the influence of braking time on the heat generation process of the brake mechanism. Three braking times, namely $t = [3, 5, 7]$ (s), were selected for analysis. The simulation results are presented from Figure 4 to Figure 6.

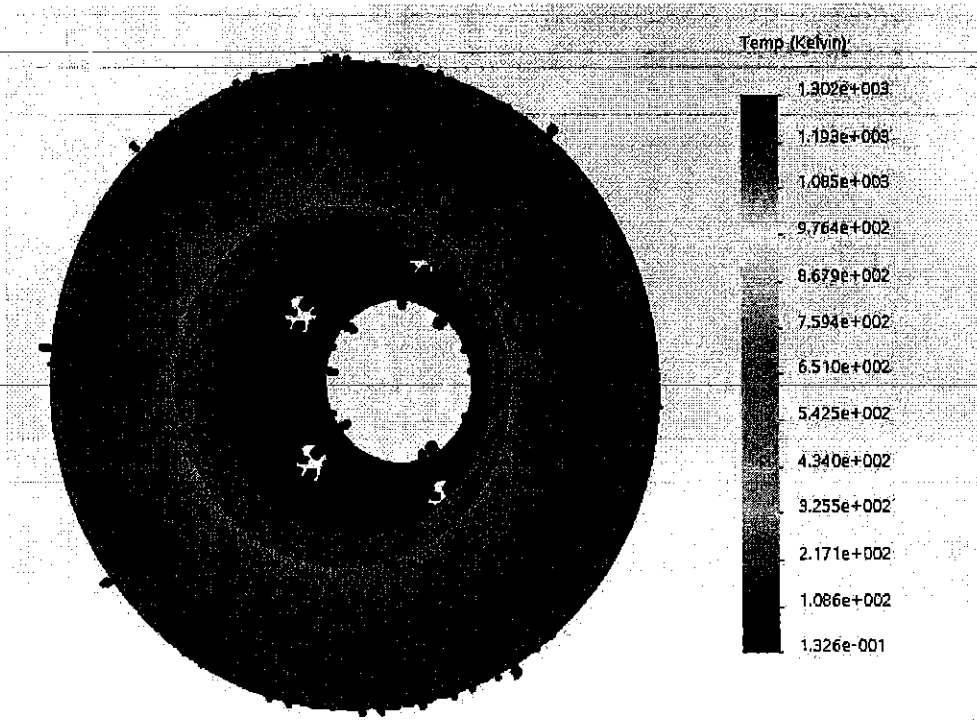


Fig. 4. Temperature distribution on brake disc($t=3s$)

Acknowledgment

The authors wish to thank the Thai Nguyen University of Technology for supporting this work.

REFERENCES

- [1] Ali Belhocine, Mostefa Bouchetara, Thermomechanical modelling of disc brake contact phenomena, *FME Transactions* , VOL. 41, No 1, 2013
- [2] Welteji Beñā and Gofila Sirata, Coupled Thermal Stress Analysis of Volvo Truck Disc Brake, *Advances in Materials Science and Engineering Volume 2022*, Article ID 7945264, 10 pages
- [3] Gongyu Pan and Rongyu Cai, Thermal Stress Coupling Analysis of Ventilated Disc Brake Based on Moving Heat Source, *Advances in Materials Science and Engineering Volume 2018*, Article ID 8162028, 11 pages
- [4] Bouchetara Mostefa, Belhocine Ali, Thermoelastic Analysis of Disk Brakes Rotor, *American Journal of Mechanical Engineering*, 2014, Vol. 2, No. 4, 103-113
- [5] R. A. García-León, N. Afanador-García and J. A. Gómez-Camperos, Numerical Study of Heat Transfer and Speed Air Flow on Performance of an Auto-Ventilated Disc Brake, *Advances in Thermo-Fluid Dynamics of Industrial Systems*, 16 April 2021
- [6] Anant W. Nemade, Samir A. Telang, Dr. Arvind L. Chel, Effect of Heat Conduction on Friction Pad Life in Disk Braking System, *International Journal of Applied Engineering Research* ISSN 0973-4562 Volume 13, Number 5 (2018) pp. 1 -4